

631.5  
L2936  
v.3

97-05-15

최종 보고서

# 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구

A Study on the Water Requirement Variation  
with the Farming Conditions in the Paddy Field

1997. 12

## 요 약 문

1. **연구과제명** : 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구(최종)

2. **연구기간** : 1997. 1 ~ 1997.12(총 3년중 3년)

### 3. 연구의 필요성 및 목적

- 가. 쌀 생산비 절감을 위해 영농방식이 이앙에서 직파로 전환되고 있음
- 나. 직파재배에 따라 필요수량의 변화가 예상됨
- 다. 따라서 직파재배에 따른 적정 물관리 방안을 수립하고
- 라. 작물의 필요수량 산정기준을 정립하며
- 마. 저수지, 용수로 등의 시설 수리시설물에 미치는 영향을 검토하여
- 바. 직파를 고려한 신규 수리시설물의 설계기준을 정립하는데 목적이 있음.

### 4. 연구내용 및 결론

#### 가. 영농방식의 변화

- 1) 최근의 영농방식의 변화는 직파재배, 어린모 기계이앙, 환경보존형 지속적 농법, 논·밭 전환, 농업의 기계화 및 자동화, 경지의 대구획화 등으로 대별할 수 있으나 벼 재배방식의 직파재배로의 전환이 가장 두드러지며 가장 많은 필요수량의 변화를 수반할 것으로 예상된다.
- 2) 직파재배는 향후 계속 증가할 것으로 예상되며 증가면적은 직파적지를 고려한 결과 전체 벼 재배면적의 50~60%인 600천ha 정도로 추정된다. 직파방식은 현재에는 건답직파방식이 많으나 앞으로는 대규모 기계화 영농에 유리한 담수표면직파 방식이 확대될 것이며 직파기술의 진보에 따라 무경운 직파방식도 도입될 것으로 예상된다.

## 나. 직파현황 및 물관리 특성조사

- 1) 직파 재배면적은 '94년을 기점으로 크게 증가하였으며 '97년 현재에는 벼 재배면적의 10.4%에 달하고 있고, 표본지구를 선정하여 조사한 결과 관개구역이 대규모이고 평야지가 많은 남부지방의 직파시행 비율이 높았다.
- 2) 수원공별 직파현황을 조사한 결과 저수지 관개구역에서 직파재배를 많이 시행하고 있었으며, 양수장 및 보를 수원공으로 하는 지역에서는 직파시행 비율이 낮게 나타났다.
- 3) 직파적지를 조사한 결과 지역에 따라 다르나 전체 논면적의 60~70%로 나타났다. 대규모 관개구역 및 평야지와 남부지역에서 높게 조사되었고, 수원공별로는 저수지 구역에서는 60~70%, 양수장 지역에서는 40~60% 정도로 조사되었다.

## 다. 직파재배 소비수량 시험

- 1) 직파재배 소비수량 시험 결과 직파재배를 고려하여 필요수량을 산정할 수 있도록 산정방법별 작물계수를 보정하였으며 초기 작물계수는 Penman 식의 경우 5월 초순에 0.56, 중순에 0.56, 하순에는 0.75 및 6월 초순에는 0.95로 나타났으며 B-C식의 경우에는 5월 초순에 0.44, 중순에 0.44, 하순에는 0.68, 6월 초순에는 0.71로 나타났다.
- 2) 포장용수량 시험결과 재배방식별 필요수량은 담수직파에서 가장 높게 나타났으며 이앙재배에 비하여 건답직파에서는 2%, 담수직파에서는 22%의 관개수량이 더 필요한 것으로 나타났다.

## 라. 필요수량 산정 모형

- 1) 필요수량 산정 모형을 개발하고 재배방식별 필요수량의 변화를 검토한 결과 건답직파에서는 이앙재배에 비하여 10% 내외, 담수직파에서는 30% 내외의 용수수요 증가를 예상할 수 있으나 이는 혼합재배방식, 지역적 특성 및 토양조건을 고려하여 결정하여야 함을 알 수 있었다.

- 2) 단위용수량 산정 모형을 개발하고 재배방식별 단위용수량을 산정한 결과 혼합재배방식에는 이앙재배와 거의 비슷하게 산정되어 기존 수로조직에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 나타났다. 그렇지만 용수지선이나 지거를 설계할 경우에는 직파재배 구역의 특성을 파악하여 적용해야 하는 것을 알 수 있었다.

#### 마. 수리시설물 모의조작 시스템의 개발 및 적용

- 1) 직파재배방식에 따른 수리시설물의 영향평가 및 신규 수리시설물의 설계에 활용하기 위해 수리시설물 모의조작 시스템(HOMWRS)을 개발하였으며 본 시스템을 이용하여 기설 수리시설물의 능력을 평가한 결과 향후 직파적지 전체에 직파재배를 시행할 경우 건담직파에서는 5%, 담수직파에서는 20% 정도의 필요저수량이 증가할 것으로 예상되나 이는 혼합방식이나 수원공의 특성에 따라 달라지므로 수리시설물의 설계시 신중을 기해야 함을 알 수 있었다.
- 2) 향후 수리시설물을 설계할 경우에는 직파재배방식의 도입이 예상되므로 이를 고려해야 하며 관개구역의 직파적지를 산정하여 직파재배 예상면적을 추정하고 지역적 특성에 맞는 재배방식을 택하여 본 연구에서 개발된 수리시설물 모의조작 모형을 이용하여 신규 수리시설물의 설계에 활용할 수 있을 것이다.

### 5. 연구결과의 실용화 방안

- 가. 직파재배에 따른 필요수량 산정 방법의 정립
- 나. 직파재배를 고려한 작물계수의 산정 및 관개계획 수립에 적용
- 다. 수리시설물 모의조작 시스템의 기설 수리시설물 영향 평가에 적용
- 라. 수리시설물 모의조작 시스템의 직파재배를 고려한 농업용수개발계획에 활용
- 마. 직파재배를 고려한 설계기준의 정립 및 보급

# 여 백

# 목 차

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 요 약 문 .....               | 1   |
| 제1장 서 론 .....             | 15  |
| 제2장 영농방식과 필요수량의 변화 .....  | 23  |
| 2.1 영농방식의 변화 .....        | 25  |
| 2.2 벼 직파재배 .....          | 32  |
| 2.3 직파재배와 필요수량 .....      | 41  |
| 2.4 수리시설물에 미치는 영향 .....   | 49  |
| 제3장 직파현황 및 물관리 특성조사 ..... | 53  |
| 3.1 직파재배 현황 .....         | 55  |
| 3.2 생육기별 물관리 특성 .....     | 66  |
| 3.3 수원공별 직파현황 .....       | 80  |
| 3.4 직파적지 조사 .....         | 87  |
| 제4장 직파재배 소비수량 시험 .....    | 101 |
| 4.1 작물계수 시험 .....         | 103 |
| 4.2 포장용수량 시험 .....        | 139 |
| 4.3 시험결과의 고찰 .....        | 163 |
| 제5장 필요수량 산정 모형 .....      | 167 |
| 5.1 필요수량 모형 .....         | 169 |
| 5.2 모형의 구성 .....          | 186 |
| 5.3 모형의 적용 .....          | 191 |
| 5.4 단위용수량 산정 .....        | 203 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| <b>제6장 수리시설물 모의조작 시스템의 개발 및 적용</b> | 215 |
| 6.1 시스템의 개요                        | 217 |
| 6.2 저수지 모의조작 모형                    | 218 |
| 6.3 수리시설물 모의조작 시스템                 | 228 |
| 6.4 시스템의 적용성 평가                    | 244 |
| 6.5 시스템의 응용                        | 253 |
| <br>                               |     |
| <b>제7장 요약 및 결론</b>                 | 255 |
| <br>                               |     |
| <b>참고문헌</b>                        | 263 |
| <br>                               |     |
| <b>부    록</b>                      | 269 |

## 표 목 차

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <표 2-1> 벼 농사 농작업의 기계화율 .....          | 31 |
| <표 2-2> 벼 재배방법별 10a당 투하노동력 .....      | 33 |
| <표 2-3> 직파재배 노동력 및 생산비 절감효과 .....     | 34 |
| <표 2-4> 벼 재배방식별 관개용수량 .....           | 42 |
| <표 2-5> 전국 수리시설 현황 .....              | 51 |
| <표 3-1> 연도별 벼 재배유형의 변화 .....          | 55 |
| <표 3-2> 중, 남부별 직파재배 현황 .....          | 58 |
| <표 3-3> 시도별 벼 재배방식별 면적 .....          | 59 |
| <표 3-4> 시도별 논벼 생산량 .....              | 64 |
| <표 3-5> 중모 및 직파재배 수량 비교 .....         | 64 |
| <표 3-6> 직파재배 생육기별 생육일수 .....          | 66 |
| <표 3-7> 재배방식별 파종후 일수에 따른 초장 비교 .....  | 67 |
| <표 3-8> 직파재배 초기 생육기간 조사 .....         | 67 |
| <표 3-9> 중,남부별, 품종별 파종시기 .....         | 68 |
| <표 3-10> 직파재배 실제 파종시기 및 적합시기 조사 ..... | 69 |
| <표 3-11> 벼 일반 생육기별 물관리 요령 .....       | 70 |
| <표 3-12> 직파재배 유형에 따른 투수속도의 변화 .....   | 74 |
| <표 3-13> 논 토양별 수분지속 일수 .....          | 74 |
| <표 3-14> 토양 수분함량별 3cm 담수 용수량 .....    | 75 |
| <표 3-15> 논외 전습관계와 침투량 .....           | 75 |
| <표 3-16> 건답직파 초기담수시 일 감수심 .....       | 76 |
| <표 3-17> 담수직파 눈그누기 일수 .....           | 78 |
| <표 3-18> 표본구역의 선정 내역 .....            | 81 |
| <표 3-19> 표본구역의 직파재배 현황 .....          | 82 |
| <표 3-20> 표본구역 수원공별 직파현황 .....         | 84 |
| <표 3-21> 표본구역 수원공별 직파시행 비율 .....      | 84 |
| <표 3-22> 직파 경작자의 수원공 이용현황 .....       | 86 |

|   |     |
|---|-----|
| <표 3-23> 직파재배 적지 선정 모식도 .....                     | 87  |
| <표 3-24> 건답 직파재배 가능지 토양통 .....                    | 89  |
| <표 3-25> 담수 직파재배 가능지 토양통 .....                    | 90  |
| <표 3-26> 표본구역의 담수직파 적지면적 산출 .....                 | 92  |
| <표 3-27> 표본구역의 건답직파 적지면적 산출 .....                 | 93  |
| <표 3-28> 표본구역 수원공별 건답직파 적지면적 .....                | 94  |
| <표 3-29> 표본구역 수원공별 담수직파 적지면적 .....                | 95  |
| <표 3-30> 표본구역의 표고별 적지면적 산출내역 .....                | 95  |
| <표 3-31> 표본구역 직파 적지면적 및 시행면적 비율 .....             | 97  |
| <표 3-32> 직파적지 비율 .....                            | 99  |
| <표 4-1> 시험포장의 토양특성 .....                          | 104 |
| <표 4-2> 지역별 품종 및 재배방식 .....                       | 111 |
| <표 4-3> 시험포장 처리 내역 .....                          | 112 |
| <표 4-4> 품종별 초장 조사 .....                           | 113 |
| <표 4-5> 수확량 조사 .....                              | 115 |
| <표 4-6(a)> 증발산량 측정 결과(순별 평균,수원) .....             | 118 |
| <표 4-6(b)> 증발산량 측정 결과(순별 평균,대구) .....             | 119 |
| <표 4-7> 지역별 순별 평균 잠재증발산량(수정 Penman식) .....        | 122 |
| <표 4-8> 지역별 순별 평균 잠재증발산량(Blaney-Criddle식) .....   | 124 |
| <표 4-9(a)> 지역별 순별 작물계수(수정 Penman식,수원) .....       | 126 |
| <표 4-9(b)> 지역별 순별 작물계수(수정 Penman식,대구) .....       | 127 |
| <표 4-10(a)> 지역별 순별 작물계수(Blaney-Criddle식,수원) ..... | 130 |
| <표 4-10(b)> 지역별 순별 작물계수(Blaney-Criddle식,대구) ..... | 131 |
| <표 4-11> 실측 증발산량과 계산 증발산량과의 RMSE .....            | 134 |
| <표 4-12> 기존 수정 Penman 공식의 작물계수와의 비교 .....         | 137 |
| <표 4-13> 기존 Blaney-Criddle 공식의 작물계수와의 비교 .....    | 138 |
| <표 4-14> 담수심 측정용 수위센서의 제원 및 특징 .....              | 143 |
| <표 4-15> '97년도 시험포장의 관개수량 측정 결과 .....             | 149 |
| <표 4-16> 영농방식별 본답기 이전 용수량 비교 .....                | 150 |

|   |     |
|---|-----|
| <표 4-17> 시험포장 토양의 물리적 특성                      | 151 |
| <표 4-18> 영농방식별 재배기간의 관개량                      | 153 |
| <표 4-19> 본답기 이전 초기물관리기의 유효수량                  | 156 |
| <표 4-20> 영농방식별 본답기 유효수량 산정 결과                 | 160 |
| <표 4-21> '97년도 영농방식별 총필요수량                    | 161 |
| <표 4-22> 영농방식별 생육상황                           | 162 |
| <표 4-23> 영농방식별 출수기 생육 및 수량 구성요소               | 162 |
| <표 4-24> B-C공식의 생육기별 작물계수(Kc)                 | 163 |
| <표 4-25> B-C공식의 작물계수(82-86)                   | 164 |
| <표 4-26> Penman공식의 작물계수(82-86)                | 164 |
| <표 4-27> 산정방법별 작물계수의 적용                       | 165 |
| <표 5-1> 풍속 보정계수                               | 173 |
| <표 5-2> 관측가능 일사량 (extra terrestrial radition) | 175 |
| <표 5-3> 위도별 일평균 일조가능시간(북반구)                   | 176 |
| <표 5-4> 위도별 주간시간 백분율(북반구)                     | 177 |
| <표 5-5> 작부시기의 적용                              | 192 |
| <표 5-6> 작물계수의 적용                              | 193 |
| <표 5-7> 재배방식별 '97년 필요수량 산정 결과                 | 195 |
| <표 5-8> 필요수량 산정결과 비교                          | 195 |
| <표 5-9> 실측 및 모형계산에서의 유효강우 비교                  | 196 |
| <표 5-10> 재배방식별 필요수량 변화(Penman)                | 200 |
| <표 5-11> 재배방식별 필요수량 변화(B-C)                   | 200 |
| <표 5-12> 혼합재배방식의 필요수량 변화 (Penman)             | 202 |
| <표 5-13> 재배방식별, 생육기별 단위용수량의 변화                | 211 |
| <표 5-14> 재배방식의 혼합비율에 따른 단위용수량의 변화             | 213 |
| <표 6-1> 기상관측소 DB 구성내역                         | 233 |
| <표 6-2(a)> 기상관측소 일람표(1)                       | 234 |
| <표 6-2(b)> 기상관측소 일람표(2)                       | 235 |
| <표 6-3> 기상자료 DB 구성내역                          | 236 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <표 6-4> 작물계수 DB 구성내역             | 236 |
| <표 6-5> 작부시기 DB 구성내역             | 237 |
| <표 6-6> 용설저수지 현황                 | 244 |
| <표 6-7> 용설저수지 내용적 자료             | 244 |
| <표 6-8> 용설저수지 유역 피복임상상태          | 246 |
| <표 6-9> 용설저수지 재배방식별 직파적지 현황      | 247 |
| <표 6-10> 용설저수지 모의조작 결과           | 249 |
| <표 6-11> 직파재배를 고려한 용설저수지 모의조작 결과 | 252 |

## 그림 목 차

|   |     |
|---|-----|
| <그림 2-1> 휴림건담직과 과중전경 .....              | 36  |
| <그림 2-2> 무논골뿌림 담수직과 과중전경 .....          | 36  |
| <그림 3-1> 연도별 벼 재배유형의 변화 .....           | 56  |
| <그림 3-2> 직과 재배면적 변화 추이 .....            | 57  |
| <그림 3-3> '97 벼 재배유형별 분포도 .....          | 58  |
| <그림 3-4> 각 도별 직과재배 현황 .....             | 60  |
| <그림 3-5> 건담직과재배 논의 수확기 전경 .....         | 65  |
| <그림 3-6> 건담직과 초기담수전 벼 생육상태(3~4엽기) ..... | 73  |
| <그림 3-7> 담수직과 눈그누기 장면(영남농업시험장) .....    | 79  |
| <그림 3-8> 표본구역 직과 재배시행 면적 비율 .....       | 83  |
| <그림 3-9> 표본구역 직과 적지면적 비율 .....          | 94  |
| <그림 3-10> 표본구역의 표고별 적지면적 분포도 .....      | 96  |
| <그림 3-11> 표본구역 직과 적지면적 및 시행면적 비율 .....  | 97  |
| <그림 4-1> 시험포장별 라이시미터 배치현황 .....         | 105 |
| <그림 4-2(a)> 시험포장 전경(수원지역) .....         | 105 |
| <그림 4-2(b)> 시험포장 전경(대구지역) .....         | 106 |
| <그림 4-3(a)> 강우량의 순별 변화(수원) .....        | 108 |
| <그림 4-3(b)> 평균기온의 일별 순평균 변화(수원) .....   | 108 |
| <그림 4-3(c)> 상대습도의 일별 순평균 변화(수원) .....   | 109 |
| <그림 4-3(d)> 일조시간의 일별 순평균 변화(수원) .....   | 109 |
| <그림 4-4(a)> 강우량의 순별 변화(대구) .....        | 110 |
| <그림 4-4(b)> 평균기온의 일별 순평균 변화(대구) .....   | 110 |
| <그림 4-4(c)> 상대습도의 일별 순평균 변화(대구) .....   | 110 |
| <그림 4-4(d)> 일조시간의 순별 일평균 변화(대구) .....   | 111 |
| <그림 4-5(a)> 벼 초장 변화(수원) .....           | 114 |
| <그림 4-5(b)> 벼 초장 변화(대구) .....           | 114 |
| <그림 4-6> 라이시메타 구조도 .....                | 116 |

|  |     |
|--|-----|
| <그림 4-7(a)> 일별 순평균 증발산량(수원,조생종)                      | 119 |
| <그림 4-7(b)> 순별 평균 증발산량(수원,중생종)                       | 119 |
| <그림 4-7(c)> 순별 평균 증발산량(수원,만생종)                       | 120 |
| <그림 4-7(d)> 순별 평균 증발산량(대구,조생종)                       | 120 |
| <그림 4-7(e)> 순별 평균 증발산량(대구,중생종)                       | 120 |
| <그림 4-7(f)> 순별 평균 증발산량(대구,만생종)                       | 121 |
| <그림 4-8(a)> 수정 Penman 공식에 의한 순별 평균 잠재증발산량(수원)        | 122 |
| <그림 4-8(b)> 수정 Penman 공식에 의한 순별 평균 잠재증발산량(대구)        | 123 |
| <그림 4-9(a)> Blaney-Criddle 공식에 의한 순별 평균 잠재증발산량(수원)   | 124 |
| <그림 4-9(b)> Blaney-Criddle 공식에 의한 순별 평균 잠재증발산량(대구)   | 124 |
| <그림 4-10(a)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(조생종,수원)      | 127 |
| <그림 4-10(b)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(중생종,수원)      | 128 |
| <그림 4-10(c)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(만생종,수원)      | 128 |
| <그림 4-10(d)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(조생종,대구)      | 128 |
| <그림 4-10(e)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(중생종,대구)      | 129 |
| <그림 4-10(f)> 수정 Penman식에 의한 품종별 순별 작물계수(만생종,대구)      | 129 |
| <그림 4-11(a)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(조생종,수원) | 132 |
| <그림 4-11(b)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(중생종,수원) | 132 |
| <그림 4-11(c)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(만생종,수원) | 132 |
| <그림 4-11(d)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(조생종,대구) | 133 |
| <그림 4-11(e)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(중생종,대구) | 133 |
| <그림 4-11(f)> Blaney-Criddle식에 의한 품종별 순별 작물계수(만생종,대구) | 133 |
| <그림 4-12(a)> '96년도 실측 증발산량과 계산 증발산량의 차이(수원)          | 135 |
| <그림 4-12(b)> '97년도 실측 증발산량과 계산 증발산량의 차이(수원)          | 135 |
| <그림 4-12(c)> '96년도 실측 증발산량과 계산 증발산량의 차이(대구)          | 135 |
| <그림 4-12(d)> '97년도 실측 증발산량과 계산 증발산량의 차이(대구)          | 136 |
| <그림 4-13(a)> 수원지방 수정 Penman공식의 작물계수 비교               | 137 |
| <그림 4-13(b)> 대구지방 수정 Penman공식의 작물계수 비교               | 137 |
| <그림 4-14(a)> 수원지방 Blaney-Criddle 공식의 작물계수 비교         | 138 |

|  |     |
|--|-----|
| <그림 4-14(b)> 대구지방 Blaney-Criddle 공식의 작물계수 비교 ..... | 139 |
| <그림 4-15> 시험포장의 전경(경기도 농촌진흥원) .....                | 141 |
| <그림 4-16> 시험포장의 배치 .....                           | 141 |
| <그림 4-17> 관개량 측정용 유량계 .....                        | 142 |
| <그림 4-18> 담수심 측정용 센서의 설치 상황 .....                  | 143 |
| <그림 4-19> 물꼬의 형태 .....                             | 144 |
| <그림 4-20> 물꼬의 설치상황 .....                           | 145 |
| <그림 4-21> 영농방식별 물관리 개념도 .....                      | 148 |
| <그림 4-22> 영농방식별 재배 포장에서의 토양수분 변화('97년) .....       | 151 |
| <그림 4-23> 이앙재배 논 의 일 담수심 변화 .....                  | 157 |
| <그림 4-24> 담수직과 논 의 일 담수심 변화 .....                  | 157 |
| <그림 4-25> 건답직과 논 의 일 담수심 변화 .....                  | 158 |
| <그림 4-26> 이앙재배 논 의 시간별 담수심 변화(7/4/97~7/5/97) ..... | 158 |
| <그림 4-27> 담수직과 논 의 시간별 담수심 변화(7/4/97~7/5/97) ..... | 159 |
| <그림 4-28> 건답직과 논 의 시간별 담수심 변화(7/4/97~7/5/97) ..... | 159 |
| <그림 5-1> 순복사량 산정의 각 요소 .....                       | 174 |
| <그림 5-2> 논에서의 물수지 개념도 .....                        | 179 |
| <그림 5-3> 이앙재배 초기 물관리 개념도 .....                     | 182 |
| <그림 5-4> 담수직과 초기 물관리 개념도 .....                     | 184 |
| <그림 5-5> 건답직과 초기 물관리 개념도 .....                     | 186 |
| <그림 5-6> 필요수량 산정 모형의 구조 .....                      | 187 |
| <그림 5-7> 담수직과 필요수량 산정 요약(예) .....                  | 190 |
| <그림 5-8> 혼합재배방식의 필요수량 산정 요약(예) .....               | 191 |
| <그림 5-9> 이앙재배의 일별 필요수량의 변화(Penman) .....           | 198 |
| <그림 5-10> 건답직과의 일별 필요수량의 변화(Penman) .....          | 198 |
| <그림 5-11> 담수직과의 일별 필요수량의 변화(Penman) .....          | 199 |
| <그림 5-12> 이앙재배의 일별 용수량의 변화(33.3ha) .....           | 209 |
| <그림 5-13> 건답직과의 일별 용수량의 변화(33.3ha) .....           | 209 |
| <그림 5-14> 담수직과의 일별 용수량의 변화(33.3ha) .....           | 210 |

|  |     |
|--|-----|
| <그림 5-15> 전체 관개구역의 일별 용수량의 변화(100.0ha)     | 210 |
| <그림 5-16> 혼합재배방식에서의 일별 용수량의 변화(혼합비율 33.3%) | 212 |
| <그림 6-1> DIROM 모형의 강우-유출 모식도               | 223 |
| <그림 6-2> 저수지에서의 물수지 모식도                    | 224 |
| <그림 6-3> 시스템 메뉴의 구성                        | 230 |
| <그림 6-4> 시스템을 이용한 업무분석 흐름도                 | 231 |
| <그림 6-5> 시스템의 하위 모형간 연계도                   | 232 |
| <그림 6-6> 데이터베이스 연결 구조도                     | 233 |
| <그림 6-7> 사업계획 작성 입력창                       | 238 |
| <그림 6-8> 기상자료 DB 열기창                       | 238 |
| <그림 6-9> 필요수량 산정 입력창                       | 239 |
| <그림 6-10> 일별 유입량 산정 입력창                    | 240 |
| <그림 6-11> 물수지 산정 입력창                       | 241 |
| <그림 6-12> 기상관측소 DB 열기창                     | 242 |
| <그림 6-13> 기상자료 DB 열기창                      | 242 |
| <그림 6-14> 도움말 사용(예)                        | 243 |
| <그림 6-15> 저수위 자료수집 시스템 구성도                 | 245 |
| <그림 6-16> 용설저수지 일별 수위변화                    | 246 |
| <그림 6-17> 용설저수지 건답직파 적지 구분도                | 248 |
| <그림 6-18> 용설저수지 담수직파 적지 구분도                | 248 |
| <그림 6-19> 용설저수지 일별수위 비교                    | 250 |

# 제1장 서론

여 백

# 제1장 서 론

## 1.1 연구배경

세계의 약 절반에 해당되는 인구가 그들의 식량으로 쌀을 이용하고 있으며 우리나라에서도 쌀은 국민의 주식이며 농가의 가장 안전한 소득원일 뿐만아니라 우리의 식량안보를 지탱하고 있는 농산물로서 사회안전을 담보하는 기초산업이다. 그러므로 정부에서는 쌀 산업발전 종합대책을 수립하여 안정적인 쌀 수급을 위해 노력하고 있다.

쌀 산업발전 종합대책은 안정적인 벼 재배면적의 확보 및 전업경영체 육성과 생산비 절감대책으로 나눌 수 있다. 이는 2004년까지 전체 논면적을 1,100천ha로 유지하고 경영규모를 확대하여 전문경영체를 육성하며 생산기반을 정비하고 저비용 대형기계에 의해 생산에서 건조까지 쌀 생산의 일관체계를 유지할 뿐만아니라 고품질 다수확 품종을 개발하고 생산성을 향상시켜 쌀 생산비를 '94년 현재 10a당 362천원에서 2004년 232천원으로 낮추기 위한 대책이다. 이중 노력비의 절감은 100천원에서 20천원으로 79.7%로 획기적으로 낮출 계획이다.

쌀 생산비 중 노력비를 절감하기 위한 한 방안으로 대규모 기계화와 더불어 직파재배, 항공방제 등 극도로 단순화된 영농방식을 통한 획기적인 생력화 및 생산비 절감기술을 추진하게 되었다. 이러한 방편의 하나로 '93년부터 본격적으로 벼의 직파재배 기술이 보급되었고 직파재배 면적은 날로 증가하는 추세에 있다.

벼 재배방식이 이앙재배에서 직파재배로 변화됨에 따라 논에서의 필요수량도 변하게 된다. 일반적으로 논에서의 필요수량은 토양조건, 영농방법, 포장의 물관리 방법 등에 의하여 결정되는데 직파재배는 본답에 직접파종하게 되므로 기존의 이앙재배와 다른 물관리 방법이 요구된다.

이러한 영농방법 및 물관리방법의 변화는 물소비형태를 변화시키므로 그 시기

와 양적 변화가 예상될 뿐 아니라 관개구역내에서 여러방식의 벼 재배방식이 병행될 경우 물관리 형태가 매우 복잡하게 나타날 것이 틀림이 없다. 또한 작물에 대한 소비수량의 변화는 수원공이나 수로조직의 규모에 영향을 미칠 것이며 따라서 기존 수리시설물의 용수공급 및 내한능력의 검토도 실시되어 적정규모의 설계기준이 마련되어야 할 것이다.

따라서 본 연구에서는 직파재배에 대한 일반현황을 파악하고 재배방식별 물관리 특성을 조사하며, 직파재배 소비수량 및 포장용수량 시험을 통하여 필요수량의 변화 정도를 분석하여 향후 수리시설물의 설계기준을 제시하고자 한다. 본 연구는 '95년 부터 3개년에 걸쳐 시행되고 있으며 올해는 연구의 마지막 해가 된다. 본 연구를 통하여 직파재배에 대한 적정 물관리 방안이 제시되고 향후 수리시설물의 설계기준이 정립될 수 있을 것으로 기대된다.

## 1.2 연구목적

필요수량을 안다는 것은 농업용수개발과 물의 효율적인 관리계획수립에 있어 중요한 사항이다. 그러므로 작물의 필요수량 크기 및 필요한 시기를 정량적으로 분석하기 위하여 많은 연구가 수행되어왔고 그 결실로 지금까지 이앙재배방식에 따른 관개계획수립 체계가 확립될 수 있었다.

그러나 직파재배는 기존의 이앙재배 방식과는 다른 별도의 물관리 방법을 고려해야 하며 직파재배 방법별로 물관리 방법이 서로 다르기 때문에 물이 필요한 시기와 그 양도 변하게 된다. 특히 담수직파는 담수상태의 본답기간이 길어진 관계로 기존의 이앙재배 방식보다 많은 용수량을 필요로 하게되며 건답직파에서도 못자리용수는 필요없지만 담수상태의 썩레질한 작토와는 다른 건토상태이므로 관개를 시작했을때 수직 침투가 심하여 초기에 습윤경지 조성을 위한 용수손실이 많을 것으로 예상된다.

또한 도복의 방지나 분얼을 조절하기 위해 정밀한 물관리가 요구되므로 직파재

배를 실시한 논에서의 적절한 물관리 방안을 수립해야 하며 논에서의 필요수량에 대한 변화정도를 파악하고 이러한 필요수량의 변화가 기설 수원공 및 수로조직에 미치는 영향을 파악해야 하며 향후 직파재배를 고려한 신규 수리시설물의 설계기준도 정립되어야 한다. 이러한 관점에서 볼 때 본 연구의 목적은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 직파재배에 따른 적정 물관리 방안의 수립
- 2) 직파재배에 따른 작물의 필요수량 산정기준의 정립
- 3) 직파재배에 따른 기설 수리시설물의 영향 검토
- 4) 직파재배를 고려한 신규 수리시설물 설계기준 정립

### 1.3 연구내용 및 실적

영농방식 변화에 따른 필요수량의 변화를 연구하는 목적은 최근의 영농방식의 여러변화 양상중에서도 직파재배에 따른 필요수량의 변화정도를 규명하고 수리시설물에 미치는 영향을 분석하여 향후 직파재배를 고려한 설계기준을 정립하는데 있으므로 본 연구에서는 이러한 연구목적을 달성하기 위해 다음과 같은 연구방향을 설정하고 3개년 동안 연구를 수행하여 왔다.

- 1) 영농방식의 변화 양상 및 필요수량 변화에 관한 자료수집 및 연구
- 2) 직파재배 현황 자료 및 물관리 특성자료 수집
- 3) 직파재배 적지 산정 기준정립 및 자료수집
- 4) 직파재배 작물계수 및 포장용수량 시험
- 5) 직파재배 필요수량 산정 방법의 정립 및 모형의 개발
- 6) 수리시설물 모의조작 시스템의 개발 및 수리시설물 영향 평가

이러한 연구방향에 따라 '95년도부터 3개년 동안 수행된 주요 연구내용 및 실적은 다음과 같이 정리할 수 있다.

| 년 도             | 연구 실적 및 내용                 | 비 고         |
|-----------------|----------------------------|-------------|
| ('95 년)<br>1차년도 | 1. 영농방식의 변화 검토             | 농어촌진흥공사     |
|                 | 2. 직파재배 물관리 특성 조사 분석       | "           |
|                 | 3. 직파재배 소비수량 시험 및 포장용수량 시험 | 서울대 농업개발연구소 |
|                 | 4. 직파재배 필요수량 산정모형 검토       | 농어촌진흥공사     |
| ('96 년)<br>2차년도 | 1. 직파재배 소비수량 시험 및 포장용수량 시험 | 서울대 농업개발연구소 |
|                 | 2. 직파재배 관련자료 수집            | 농어촌진흥공사     |
|                 | 3. 직파재배 물관리 특성조사           | "           |
|                 | 4. 직파재배 필요수량 산정방법의 정립      | "           |
|                 | 5. 직파재배 필요수량 산정 모형의 개발     | "           |
| ('97 년)<br>3차년도 | 1. 직파재배 소비수량 시험 및 포장용수량 시험 | 서울대 농업개발연구소 |
|                 | 2. 직파재배 현황 및 물관리 특성자료 수집   | 농어촌진흥공사     |
|                 | 3. 직파적지 자료수집 및 산정기준 정립     | "           |
|                 | 4. 수리시설물 모의조작 시스템의 개발 및 적용 | "           |
|                 | 5. 직파재배 필요수량의 변화 검토        | "           |
|                 | 6. 기설 수리시설물 영향평가           | "           |
|                 | 7. 직파재배 수리시설물 설계기준 정립      | "           |

#### 1.4 기대효과

영농방식 변화에 따른 필요수량 변화 연구를 연차별로 수행함으로써 다음과 같은 효과가 기대된다.

- 1) 직파재배에 따른 필요수량 산정 방법의 정립
- 2) 직파재배를 고려한 작물계수의 산정 및 관개계획 수립에 적용

- 3) 수리시설물 모의조작 시스템의 기설 수리시설물 영향 평가에 적용
- 4) 수리시설물 모의조작 시스템의 직파재배를 고려한 농업용수 개발계획에 활용
- 5) 직파재배를 고려한 설계기준의 정립 및 보급

### 1.5 연구진 및 연구내용

| 연구기관           | 성명  | 직급  | 소속      | 연구내용               |
|----------------|-----|-----|---------|--------------------|
| 농어촌진흥공사        | 김현영 | 2급  | 조사설계처   | 연구총괄(책임연구원)        |
|                | 장중석 | 3급  | "       | 수리시설물 모의조작 시스템의 개발 |
|                | 서영제 | 3급  | "       | 영농방식의 변화 연구        |
|                | 오수훈 | 4급  | "       | 직파 필요수량 산정방법 연구    |
|                | 김대의 | 4급  | "       | 직파현황 및 물관리 특성자료 수집 |
|                | 고경완 | 5급  | "       | "                  |
| 서울대<br>농업개발연구소 | 정하우 | 교수  | 서울대 농생대 | 직파 소비수량 시험 총괄      |
|                | 최진용 | 연구원 |         | 중부지방 소비수량 산정 및 분석  |
|                | 박기욱 | 연구원 |         | 중부지방 기상자료 분석 및 정리  |
|                | 배승종 | 연구원 |         | 중부지방 증발산량 측정 시험    |
|                | 정상욱 | 교수  | 경북대 농대  | 남부지방 소비수량 산정 및 분석  |
|                | 오창준 | 연구원 | "       | 남부지방 기상자료 분석 및 정리  |
|                | 손동섭 | 연구원 | "       | 남부지방 증발산량 측정 시험    |

# 여 백

## 제2장 영농방식과 필요수량의 변화

### 2.1 영농방식의 변화

### 2.2 벼 직파재배

### 2.3 직파재배와 필요수량

### 2.4 수리시설물에 미치는 영향

여 백

## 제2장 영농방식과 필요수량의 변화

### 2.1 영농방식의 변화

#### 2.1.1 영농방식의 변화

우리나라의 쌀농사 여건은 지금까지 농업을 둘러싸고 있는 경제·사회적 구조와 밀접하게 관련되어 많은 변화를 가져왔다. 1970년대의 식량자급을 달성하기 위한 정부의 식량증산정책은 쌀생산기반을 변화시키는 원인이 되었으며, 이와 함께 나타난 공업 위주의 산업구조 개편과정은 농촌인구를 도시로 유출시키는 이농현상을 유발하여 농촌노동력의 부족과 아울러 농촌인력의 노령화 및 부녀화를 가져왔으며 1980년대의 농작업의 기계화를 자연스럽게 촉진시킨 요인이 되었다. 더우기 최근의 다자간 무역협상에 따른 농산물 수입자유화는 우리농업의 국제경쟁력 강화를 요구하게 되었고 이에 부응하기 위한 농업구조의 재조정 정책이 절실히 필요하게 되었다.

영농의 기계화 추진으로 농기계가 확대보급되면서 쌀농사에 대한 기계화율도 제고되어 1996년에 경운정지작업은 98%, 방제작업은 98%, 이앙과 수확작업은 각각 97%, 96%까지 향상되었다(농림업 주요통계, 농림부, 1997). 이와같은 영농의 기계화는 토지이용을 극대화시키고 농지규모의 대구획화를 촉진시켰으며 농가의 영농규모와 농작업의 체계도 변화시키는 요인으로 작용하였다.

쌀농사 여건의 또 다른 변화는 벼 재배방식의 변화에서도 살펴볼 수 있다. 벼 재배방식 변화를 시기적으로 살펴보면 1960년대는 절대빈곤을 해결하기 위해 국가적 노력이 집중되었던 시대였으며 이때의 벼 재배방식은 손이앙 재배방식이 주류를 이루고 있었다. 그 당시 수리답이 40%정도에 불과하여 한발대책의 일환으로 건답직파에 대한 관심을 가져 1967년에는 건답직파 재배면적이 40,000ha로 확대되기도 하였다. 1970년대 초에는 다수확 품종을 개발하기 위한 노력으로 통일

벼가 개발 보급되어 절대 식량부족 문제를 해결하게 되었으며 다수확 품종에 의한 조식 재배방식을 실시하였다. 즉 통일벼가 보급되면서 4월하순에 육묘하여 종전에 6월 10일경에 이앙하던 것을 5월 하순으로 앞당기는 방식이었다.

70년대 후반과 80년대 초반은 농작업의 기계화 정책으로 기계이앙 재배기술이 보급되어 확립된 시기였으며 1987년 이후는 벼 생산비 절감 및 양질의 쌀을 생산하기 위해 기존의 중묘 육묘에 소요되는 노력을 단축시킨 어린모 기계이앙 재배방식이 도입되기 시작하였다(농촌진흥청, 1993). 1990년대는 기계이앙재배가 완전히 정착되었으나 농업인구의 고령화 및 부녀화가 심화되고 농촌노임의 상승으로 적기 파종이 이루어지지 못하게 되고 더우기 쌀 시장의 개방에 따라 국내 쌀생산의 경쟁력 제고를 위한 생산비 절감 대책이 절실히 필요하게 되었다. 이에따라 정부에서는 영농여건의 변화에 대처하고 양질의 쌀을 생산해야하며 동시에 수량생산도 충족시킬 수 있는 벼 재배방식으로 직파재배기술을 보급하게 되었다.

직파재배는 기존의 이앙재배에서 육묘, 이앙 과정을 생략하고 본답에 직접 파종하는 단순화된 재배법으로 이에따른 노동력의 절감 및 대형기계화에 의한 작업이 용이해지므로 쌀생산비의 획기적 절감을 도모할 수 있는 재배법으로 알려져 있다. 정부에서는 2004년까지 쌀생산비를 36%까지 절감하겠다는 목표를 제시하고 있으며 이 목표는 대규모 기계화와 더불어 직파재배, 항공방제 등 극도로 단순화된 영농방식의 도입을 통해서만이 달성 가능할 것이다.

한편 영농방식의 기계화 및 벼 재배방식의 변화와 더불어 경지의 고도이용을 위한 논·밭 전환농법 및 농업의 지속가능한 개발 및 보전을 위한 환경보존형 지속농법의 도입, 첨단농업시설의 도입에 따른 기계화·자동화, 기계화 영농을 전제로하는 경지의 대구획화도 최근의 영농방식의 한 변화 양상으로 볼 수 있다.

이와같은 생산기반의 변화나 영농의 기계화 및 재배방식의 변화는 실제 포장에서의 용수량의 변화를 수반하게 된다. 즉 경지의 대구획화 경우는 수로와 경지내의 손실량 및 침투용수량을 증가시키게 되며 논·밭전환과 같은 농지의

범용화는 토양의 물리적 특성을 변화시켜 용수사용의 증가 원인이 되기도 한다.

경지에 있어서의 용수량의 변화는 벼 재배유형의 변화중 직파재배 방식으로 전환할 경우에 특히 많은 변화가 예상된다. 직파재배에 따라서 물관리 체계가 변하게 되며 이에따라 벼 재배에 필요한 물 수요량도 변하기 때문이다. 작물 필요수량의 변화는 기설 수리시설물의 용수공급능력의 검토 및 신규 수리시설물의 설계에 이를 반영할 필요성이 제기되고 있다.

### 2.1.2 직파재배

우리나라의 직파재배는 1968년 가뭄대책의 일환으로 약 70천ha가 시행된 기록이 있으나 그 후 수리시설의 확충과 이앙기의 도입 등 영농기반이 안정됨으로서 재배면적이 급진적으로 감소하였다. 그러나 1990년 초반부터 직파재배 면적이 다시 증가하기 시작하여 1994년에는 73천ha로 우리나라 전체 논면적의 6.4%에 달하게 되었으며 1997년도에는 10.4%로 증가하여 직파재배가 점차 중요한 벼 재배방식으로 자리 잡게 되었다.

직파재배는 크게 건답직파와 담수직파로 나눌 수 있다. 건답직파는 물이 없는 조건에서 파종하게 되므로 작업이 용이하고 대형 기계화가 가능한 재배법이다. 또 입모기간중 관개용수를 절감할 수 있으며 육묘이앙 기간 중 가뭄이 들 때에도 재배가 용이하다. 반면 발아 및 출아기간이 길고 육묘기간 중 잡초발생이 많으며 비료의 이용효율이 낮다. 또한 생육초기 관개용수의 누수가 크고 발아기간 중 조수의 피해가 우려되며 강우시에 파종의 어려운 단점이 있다.

담수직파는 담수상태나 경운.정지후 본답에 직접 파종하게 되므로 본답 재배기간이 길어지게 되며 균일한 포장작업이 요구되므로 정지작업에 대한 노력이 많이 들고 관개용수의 확보 및 관리에 노력을 기울여야 하며, 수리 불안전 논인 경우는 이 방법의 적용이 어렵다. 담수직파에서 가장 큰 문제점은 용존산소의 부족과 불균일한 정지상태에서 부묘의 발생이나 출아 불균일로 입모분포가 일정하지

않고 도복에 약한 점이다.

### 2.1.3 어린모 기계이앙

우리나라의 벼농사에서 기계이앙재배는 '77년부터 시작한 동력이앙기의 개발보급에 따라 급진적으로 확대되었고 이로 인하여 '97년도에는 기계이앙재배면적이 벼 재배면적의 88.4%에 이르렀다. 그러나 이와같은 기계이앙의 전면 확산에도 불구하고 육묘(育苗)노력의 절감은 미흡한 수준에 머물렀다. 벼농사에서 육묘가 차지하는 비중도 크지만 봄철 저온하에서 못자리를 설치하고 육묘하는 작업은 농민들에게 어렵고 번거로운 일이다. 따라서 작업이 간편하고 노력이 절감되는 생력화된 육묘기술을 요구하게 되었으며 그 결과로 창안된 것이 바로 어린모 기계이앙재배법이다.

생력화된 육묘기술로서 개발된 어린모는 이제까지 사용되어 왔던 중묘기계 이앙상자와 이앙기를 그대로 활용하면서 재배기술만 개량시킨 것으로 어린모의 육묘는 먼저 중묘 산파 상자에 과종량을 중묘의 배인 200~220g으로 극밀파하여 육묘상자수를 중묘의 반인 10a당 15상자로 줄이고 육묘일수를 8일로 단축시켜 본엽(불완전잎 제외)의 잎수가 1.5~2.0매이고 뿌리 엉킴이 양호하여 기계모내기 지장이 없는 매트형성이 되면 본답에 이앙하는 방법이다(작물시험장, 1992).

어린모 기계이앙은 초장이 짧고 본엽이 2매이내 일 때 과종하게 되므로 부묘의 억제 뿌리의 활착을 위해 초기 세밀한 물관리가 필요하게 되고 본답 기간도 길어지게 되므로 용수의 수요가 증가하게 된다.

### 2.1.4 지속적 농업

현대에 들어와 모든 산업에서 경제적 이윤을 위해 생산성과 효율성을 추구하게 됨으로서 농업경영에서도 농업환경을 도외시한 채 오로지 경제적 가치만

을 존중하게 되었다. 이에 따라 생산기반은 대량생산체제에 맞도록 정비되었고 재배 기술은 집약적이고 노동투하량이 상대적으로 적은 방향으로 나아가게 되어 농약과 화학비료에 의존하게 되었다. 이러한 결과로 토양생태계가 파괴되고 과도한 경작과 방목으로 지력이 저하되었으며 농업용수의 수질이 급격히 악화되어 근본적인 농업 생산기반을 위협하게 되고 인간의 생활환경마저 위협하게 되었다.

이에 OECD등의 국제기구에서는 환경친화적이고 지속가능한 농업육성을 위한 여러방안을 모색하게 되었으며 농업기술과 환경을 조화시켜 현대농법의 부작용을 줄이고 생산성을 장기적으로 유지하고자 하였다. 미국 농학회에서는 지속가능한 농업의 목표를 ① 농업환경의 질과 자원을 향상시키며 ② 인간 생활의 필요한 식품과 원료를 제공하며 ③ 농민 생활의 질과 사회 전체의 질을 향상시키는 것으로 정의하기도 하였다.

환경보전형 지속농법에는 여러가지 용어와 정의가 있지만 농업자재의 의존을 낮추고 생물학적인 방법에 의해 생산성을 유지하고자 하는 저투입농업, 토양의 지력을 향상시키기 위해서 화학비료와 농약을 억제하면서 퇴비 등의 유기물질에 의존하는 유기농법 등도 이러한 범주에 들어갈 수 있을 것이다.

환경보전형 농업에서는 농업 및 기타 용수의 적정성을 확보하고 농업 및 생태계 유지를 위한 용수 사용의 효율성을 제고하려는 측면이 있으므로 용수사용량은 매우 제한적이며 절약될 것으로 예상할 수 있다.

## 2.1.5 논·밭 전환

최근 경지의 감소요인은 택지개발, 공장부지, 공공시설, 유흥지로의 전용이 주 원인이며 특히 논면적의 감소가 두드러지는데 이는 일부의 논이 밭으로 전환되고 있기 때문이다. 농림부의 쌀 산업발전 종합대책에서는 2004년까지 쌀의 안정적 수급을 위하여 전체 논면적을 1,100천ha로 유지하되 시설원에 등 벼 이외 작물

재배 논면적을 180천ha로 수준으로 유지하고자 계획하고 있어 이에 해당하는 논이 밭으로 전환될 것으로 예상된다.

논을 밭으로 전환하는 이유는 몇가지로 요약할 수 있다. 첫째는 정부에서 농업 경쟁력을 갖추기 위해 품목별 주산단지를 만들기 위함이고(밭전환), 둘째는 원래 위치나 토양 등의 조건으로 밭으로 이용하다가 농업용수의 공급이 가능해지므로서 논이 되었다가 다시 밭으로 되는 경우이고(밭환원), 셋째 지속가능 농업 또는 유기 농업을 위해 논·밭 순환을 하여 병충해를 방지하려는 이유이며(논·밭겸용), 마지막으로 경지의 고도이용을 위해 농지를 종전과 같이 논밭으로 구분하지 않고 영농을 시장원리에 따라 자유롭게 활용하기 위함이다(논·밭겸용). 이와 같이 논·밭을 순환하므로서 생산성의 증대, 연작장해 회피, 토양 비옥도의 유지, 잡초의 감소 등의 효과를 볼 수 있다.

논을 밭으로 전환하였을 때는 재배작물에 따라 용수수요의 패턴이 달라지겠지만 이를 다시 논으로 환원하였을 경우에는 토양공극이 변하게 됨으로 용수수요는 증가하게 될 것이다.

## 2.1.6 농업의 기계화 및 자동화

농업기계화는 1970년대 초기부터 정부의 공업화 시책이 본격화되면서 시작되었으며 이에 따라 정부는 1978년 농업기계화 촉진법을 제정하여 농업기계화 정책의 기반을 마련하였다. 그 결과 벼 농사에서의 기계화율은 '88년에 62%에서 '96년에는 97%로 높아져 벼 농사에서의 작업은 거의 완전 기계화가 되어가고 있는 실정이나 <표 2-1>에서 보는 바와 같이 인접한 일본 및 대만의 농작업 기계화율과 비교하였을 경우 아직도 낮은 수치를 나타내고 있다.

한편 최근에는 자본과 기술을 바탕으로 증가하는 고품질 수요에 부응할 수 있는 채소, 과수, 화훼 등의 첨단시설농업이 성장 잠재력을 갖춘 농산업의 주요 분야로 대두되고 있다.

<표 2-1> 벼 농사 농작업의 기계화율

(단위 : %)

| 구 분 | 경운·경지 | 이 양 | 방 제 | 수 확 | 비 고 |
|-----|-------|-----|-----|-----|-----|
| 한 국 | 97    | 98  | 97  | 95  |     |
| 일 본 | 100   | 99  | 100 | 99  |     |
| 대 만 | 100   | 99  | 99  | 99  |     |

※ 자료출처 : 농림업 주요통계, 농림부, 1997

이들 첨단시설농업에서는 보다 세밀한 물관리가 필요하게 된다. 즉 작물이 필요로 하는 물의 양을 정확하고 신속하게 예측해야 하며 동시에 취수, 배수 등에 대한 관개구역내의 정보를 수집할 수 있는 시스템과 수집된 정보에 따라 합리적으로 물을 배분할 수 있는 물관리 시스템을 도입하여야 한다.

농업에 기계화와 자동화 개념이 도입되어 물관리 시스템이 변하게 되므로 물수요도 변하게 된다. 즉 경운·정지 및 이양 등의 작업이 기계에 의해 이루어지므로 이양일수가 단축되고 이에 따른 재배용수량도 감소하게 된다. 또한 첨단농업 시설의 경우 연중 계속해서 작물을 재배하므로 용수수요도 연중 발생하게 될 것이다.

### 2.1.7 대구획화 경지

벼 농사의 생산성 향상과 비용 절감을 위해 농지규모화사업과 더불어 경지의 대구획화가 요구되고 있다. 농림부 농림업 주요통계(1997) 자료에 따르면 대구획 경지정리는 2004년까지 200천ha를 목표로 하고 있으며 '96년까지의 실적은 25천ha에 이르고 있다.

대구획화의 효과로는 기계화에 의한 노동생산성의 향상 이외에 도로, 수로, 논둑 밀도 등의 감소에 의한 경지면적의 확대와 경지의 집단화를 촉진하여 포장의 영세성과 분산성을 해소할 수 있고 유지관리비를 절감할 수 있다.

그러나 대구획화 경지의 경우 경구의 크기가 확대됨에 따라 용수량이 증가할

가능성이 높다. 그 이유로는 효율적인 물관리가 곤란하게 되어 관리손실이 증가하게 되고 포장내에서의 물머리 진행속도가 느려지므로 침투량이 증가하기 때문이다.

최근의 연구결과에 따르면 경지의 대구획화로 인한 용수량의 변화를 검토한 결과 장변이 150m인 토공수로를 가지는 포장에서는 현행의 장변 100m인 포장보다 단위용수량이 16%가 증가하였으며 장변이 200m로 더욱 확대되면 단위용수량은 20%가 증가하는 것으로 보고 되고있다.(경지정리의 최적설계에 관한 연구, 1994, 농림부, 농어촌진흥공사)

## 2.2 벼 직파재배

### 2.2.1 직파재배의 배경

우리나라 수도작의 역사는 최근의 조사연구 결과에 따라 5,000여년 전으로 소급 추정되고 있는데, 이와 같이 수도작의 역사가 긴 것은 기후와 토양이 수도작에 알맞아 다른 작물에 비하여 수량이 많을뿐 아니라, 재배가 용이하고 생산물의 저장력과 수송력이 크며 국민식성에도 알맞는데 기인하고 있다. 그러나 그 당시의 재배법에 대해서는 기록이 없으며 다만 직파재배가 주류를 이루었을 것으로 추정되고 있다.

1429년 정초가 저술한 우리나라 최초의 농서인 농사직설에 수도작의 유형을 수경, 건경, 삼종으로 나누어 기록한 것이 있는데 이를 직파재배 기록의 효시로 볼 수 있으며 이 시대에도 담수직파와 건답직파의 재배방법이 있었음을 알 수 있다. 그러나 임진왜란 이후 인구의 감소와 신분제도의 동요로 인한 기존 농장제(農莊制)가 붕괴됨으로서 노동력을 구하기 어려워 노동시간과 노임의 절약 차원에서 이앙재배가 확대되었다. 당시의 벼 재배에서는 제초가 가장 어려운 부분이었으며 노동력이 가장 필요한 부분이었다. 이후 인력에 의한 이앙재배는 우리나라의 전통적인 벼 재배방식으로 자리잡게 되었다.

오늘날의 직파재배는 과거의 이앙재배법의 확대 이유인 노동력 절감을 위해 다시 확대되고 있다. 물론 지금의 이앙법이 기계화되어 옛날의 이앙법 보다 노동력의 질과 종류에 있어 차이가 있음에도 불구하고 직파재배가 확대되고 있는 이유는 직파재배가 기계화되고 제초작업이 용이해지면서 이앙법 보다 노동력이 절감되고 영농의 대규모화가 쉽기 때문이다.

<표 2-2>는 벼 재배방법별 10a당 투하노동력을 나타낸 것으로서 어린모 재배는 중묘대비 11.9%, 건답직파는 30.7%, 담수직파는 27.0%의 노동력 절감효과가 있음을 알 수 있으며 직파재배 평균 노동력 절감효과는 28.4%로 나타나고 있다.

<표 2-2> 벼 재배방법별 10a당 투하노동력

(단위 : 시간/10a)

| 작업<br>단계별   | 중모<br>기계이앙    | 어린모<br>기계이앙    | 직파재배            |                 |                 |                 | 비고            |
|-------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|
|             |               |                | 건답              | 담수              | 인력산파            | 평균              |               |
| 육묘·이앙<br>단계 | 15.8<br>(100) | 11.7<br>(74.1) | 3.9<br>(22.3)   | 5.5<br>(34.8)   | 5.2<br>(32.9)   | 5.0<br>(31.6)   | '94~'95<br>평균 |
| 본답<br>재배    | 18.3<br>(100) | 17.5<br>(95.6) | 19.1<br>(104.3) | 19.4<br>(106.0) | 19.3<br>(105.5) | 19.2<br>(104.9) |               |
| 전<br>체      | 34.5<br>(100) | 30.4<br>(88.1) | 23.9<br>(69.3)  | 25.2<br>(73.0)  | 25.2<br>(73.0)  | 24.7<br>(71.6)  |               |

※ 자료출처 : 농촌진흥청 농업경영관실(1996)

직파재배의 경우 제초, 방제 및 물관리가 어려워 본답재배에서는 중묘 기계이앙 보다 5.0% 정도의 노동력이 더 필요하게 되나 육묘·이앙 단계에서는 노동력 절감효과가 68.0%에 달하고 있는 것으로 나타나고 있다.

한편 농촌진흥청의 조사자료에 따르면 직파재배에 따른 노동력 및 생산비 절감효과를 기계이앙에 비하여 ha당 노동력에서는 28%, ha당 쌀생산비는 10%가 절감되는 것으로 나타났으며 세부내역은 <표 2-3>과 같다.

<표 2-3> 직파재배 노동력 및 생산비 절감효과

| 구 분  | ha 당<br>노동력 | ha 당<br>쌀생산비 | ha 당<br>수 량 | kg 당<br>쌀생산비 | 비 고         |
|------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| 기계이앙 | 399 hr      | 406 만원       | 447 kg      | 910 원        | '92~'95 평균  |
| 직파재배 | 286 hr      | 365 만원       | 429 kg      | 851 원        |             |
| 절감효과 | △113(28)    | △41(10)      | △18(4)      | △59(6)       | ( )절감 비율(%) |

※ 자료출처 : '96 농촌진흥청 농업경영관실

<표 2-2> 및 <표 2-3>에서 보는 바와 같이 기존의 이앙재배에 비하여 직파재배에서의 노동력 절감효과는 매우 큰 것을 알 수 있으며 이러한 이유 이외에도 직파재배가 확대될 수 있었던 배경에는 잡초방제 기술, 승용 직파기의 개발 및 보급, 발아촉진 기술, 물관리 등의 영농기술의 개발과 발전이 기초가 되었음은 물론이다.

최근의 농업부분에서도 국제경쟁력이 강하게 요구되고 있으므로 우리 쌀이 살아남기 위해서는 단위당 쌀생산비를 더욱 낮추어야 할 필요성이 제기되고 있다. ha당 '92년도의 한.미간의 kg당 쌀생산비를 비교해 보면 한국은 862원으로 미국의 171원에 비해 5배의 차이를 보이고 있는 것으로 나타났다(미국의 쌀산업, 1992, 농림부). 이는 생산비중 토지용역비가 10배, 노력비가 11배나 차이가 나기 때문이며 우리나라에서 근본적으로 쌀생산비를 줄이기 위해서는 토지용역비를 낮추기 위한 획기적인 조치와 아울러 직파재배와 같은 극히 단순화된 영농방법의 도입이 필요한 실정이다.

## 2.2.2 직파재배 방식

벼 직파재배는 볍씨를 뿌릴 논에 물이 담겨 있는지 여부에 따라 담수직파와 건담직파로 크게 나눌 수 있다. 담수직파는 볍씨를 뿌리는 방법에 따라 조파,

점파 혹은 산파로 나누며 파종하는 논외 상태에 따라 다시 담수표면직파, 담수토중 직파, 무논골뿌림 등으로 구분할 수 있고, 건답직파는 이랑의 여부에 따라 휴림직파, 평면직파로 분류되어진다.

### 가. 건답직파

이앙재배와 비교할때 건답직파의 장점은 육묘이앙의 노력이 생략되고 입묘기간 중 관개용수가 절약되며 지내력이 좋기 때문에 대형 기계화에 유리한 장점이 있다. 또한 담수직파에 비해 땅속에 파종되므로 도복에 강하다. 반면에 파종후 강우가 있을 경우 뿌리의 활착이 원활하지 못해 입묘율이 저하되며, 파종전 잡초방제가 어려울 뿐만아니라 담수직파에 비해 보온이 되지 못하므로 발아 및 입묘가 불안해지며 이로 인해 출아가간이 길어지게 되는 단점이 있다.

휴림직파는 건답직파의 장점인 땅속에 파종하므로 담수직파에 비해 도복에 강한 점은 살리면서 단점인 토양수분 부족으로 인한 입묘가 불안정한 점을 개선하기 위해 개발된 것이다. 트랙터 줄뿌림파종기를 이용해서 이랑을 세워 줄뿌림을 하면 왕복주행으로 125cm폭의 파종상에 6줄이 파종되고 1개의 고랑(25cm너비)이 만들어진다. 이 고랑을 이용해서 물을 대주거나 빼주면 인위적인 토양수분 조절이 가능하다. 따라서 이랑을 만들어 파종하는 휴림파종이 평면파종 보다 입묘의 안정성이 높고 모생육도 균일 해지는 장점이 있으며 입묘 후에도 벼 생육에 따라 중간 물떼기 등 물관리를 효율적으로 할 수 있다. <그림 2-1>은 전용파종기를 이용하여 건답휴림직파를 시행하고 있는 전경이다.

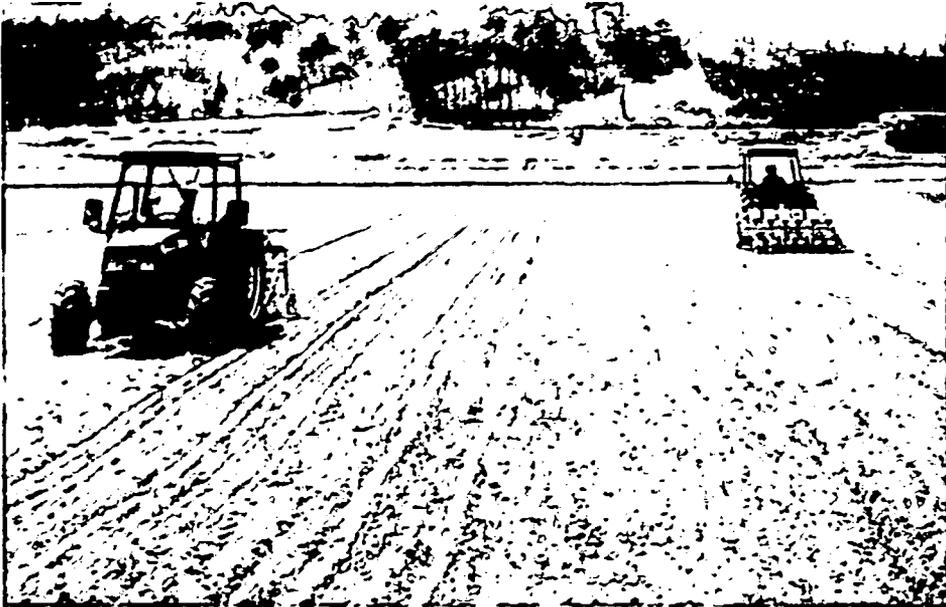
평면직파는 휴림파종에 비해 파종작업과 콤바인 수확작업에는 유리하지만 파종 후 가뭄이 계속되면 물을 대주어야 하고 비가 내리면 배수가 곤란하여 입묘의 안정성이 낮다는 커다란 단점이 있다. 그러므로 평면줄뿌림을 할 때는 논토양의 성질, 배수조건 등을 고려해서 2~5cm간격으로 반드시 배수로를 설치하여 가물때는 고랑 물대기를 하고 강우 또는 모내기를 마친 이웃논에 물이 스며들 경우에는 배수로 역할을 해서 토양수분이 적절히 조절 되도록 해야 한다.



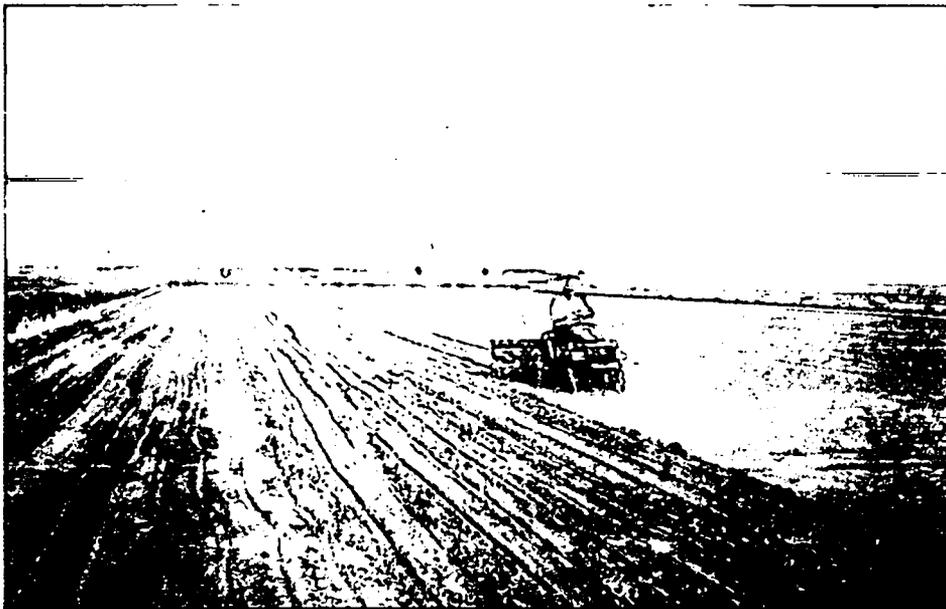
〈그림 2-1〉 휴립건담직파 파종 전경



〈그림 2-2〉 무논골뿌림 담수직파 파종 전경



〈그림 2-1〉 휴림전담직파 파종 전경



〈그림 2-2〉 무논골뿌림 담수직파 파종 전경

## 나. 담수직파

담수직파의 장점은 건답직파에 비해 물에 의한 보온 효과가 있기 때문에 기온이 낮은 지역에서도 파종이 가능하다. 또한 기상과 토양조건의 영향을 덜 받으며 담수에 의해 잡초발생이 억제되고 파종이 확실하여 작업이 안정되고 간편하며 무엇보다도 토양수분이 안정되어 있어 출아와 입묘가 좋다는 장점이 있다. 반면 단점으로는 담수상태하에서는 산소의 부족으로 발아가 좋지 않으며 출아가 불균일하고 기간도 길어지며 부묘와 도복이 심한 것 등이 꼽히고 있다(박석홍외, 1986). 또한 수리시설이 불안정한 곳에서는 용수의 제약을 받아 담수직파가 불가능하다.

무논골뿌림직파는 물을 댄 상태에서 씨레질과 땅고르기를 해서 논표면을 알맞게 굳혀 파종기로 골을 만들면서 파종하는 방법이다. 무논골뿌림 직파재배는 특히 논굳힘 상태와 파종후 물관리에 따라 입묘의 변이가 크기 때문에 무엇보다 적정 입묘수 확보가 무논골뿌림의 성패를 좌우하는 가장 중요한 요소이다. 파종후 물관리는 논을 너무 지나치게 굳힌 경우 골에만 물을 살짝 흘려댄 후 종자가 보이지 않을 정도로 흙이 덮이면 싹이 나올때까지 계속 논을 말린다. 무논골뿌림의 전형적인 파종방법은 <그림 2-2>와 같다.

담수표면직파는 씨레질 후 손 또는 산립기를 이용하여 파종하는 방법으로서 직파방식중 생력효과가 가장 크며 항공직파 등의 대규모 경영에 적합하다. 그렇지만 부묘와 도복이 심하고 출아기간이 길고 불균일 할 뿐만아니라 본답 기간이 길어 다량의 용수가 소요되고 잡초발생이 많아 방제가 어려운 단점이 있다.

담수토중직파는 전용파종기를 이용하여 토중에서의 발아시 종자의 썩음을 방지하기 위하여 종자에 발아촉진 물질을 바르고 1~2cm 깊이의 토중에 파종하는 방법이다.

### 2.2.3 직파재배의 조건

벼 직파재배는 관개·배수시설, 토양조건, 기상요인, 물관리 등의 조건에 따라 지배를 받는다. 이 중에서 기상요인은 안정적인 수확량을 확보하는데 필수적

인 요소가 되고 있다.

기상요인으로서 직파재배시 출아에 필요한 최저 평균온도는 14℃ 이상이며 우리나라의 중북부 평야지인 수원의 경우 5월 상순의 기온이 14℃가 되므로 이보다 일찍 파종하여도 출아를 앞당기기가 어렵다. 너무 일찍 파종하면 싹이 나오는 기간이 길어지고 잡초가 많이 발생하는 단점이 있으며 파종시기가 늦을 경우는 이삭이 늦게 패서 가을 병해의 위험성이 있으므로 반드시 파종적기내에 파종하여야 한다.

파종기인 4~5월에 강우로 토양수분이 과다하면 경운작업이 곤란하고 채토가 어려워 지균 작업의 균일도가 떨어진다. 파종직후의 심한 강우는 용존산소의 부족을 초래하여 출아율을 저하시켜 이로 인해 적정 입묘수를 확보하기 어렵게 된다. 따라서 강우의 피해를 극복하기 위해서는 논가장자리나 중앙에 배수구 등의 관개·배수시설이 완비되어야 한다.

토양조건으로서는 건답직파의 경우 마른 논상태로 경운정지를 하여 파종기로 파종하기 때문에 습답·식질답에서는 배수가 불량하여 재배가 어렵고 간척지 논도 점질토이므로 배수가 잘 되지 않아 건답직파는 거의 불가능하다. 사질 누수답은 오히려 삼투가 왕성하여 피하는 것이 좋다. 토양수분은 건답직파시 40~60%의 범위가 알맞으며 고온기에는 수분이 많아도 출아에는 큰 지장이 없다(윤용대, 1993). 답수직파시 물을 깊이대어 관리하면 보온효과는 있으나 산소부족으로 입묘장애가 크므로 초입부터 불안전잎이 나올 때 눈그누기를 하는 것이 유리하다.

직파재배를 위한 품종조건은 저온발아성, 답수토중 발아성(답수직파), 초기신장성이 높고 도복에 강한 품종 중 지역적용 품종을 선택 하여야 한다. 건답직파에 알맞는 품종은 안전출수 한계기 내에 출수할 수 있고 미질이 좋으면서 발아율이 높은 품종으로 중·만생종 품종은 될수록 피하고 조·중생종 중에서 수량의 변이가 적은 것으로 선택해야 한다.

마지막으로 물관리 측면에서의 직파재배 조건은 수리안전답이어야 한다. 이는

건답직파에서는 안정적인 토양수분의 확보가 가능하며 담수직파의 경우 물흘러대기가 가능해지기 때문이다.

## 2.2.4 직파재배와 물관리

벼 직파재배의 성공비결은 첫째, 필요한 만큼의 입모수를 일정시기 이내에 균일하게 확보하여야 하고 둘째, 확보된 입모수 모두가 잡초피해 없이 건실하게 자라야 하며 셋째, 수확기까지 쓰러지지 않아야 한다. 그러므로 벼 직파재배 논의 초기 물관리는 이러한 점에 주안점이 주어져야 한다.(영남농업시험장, 박성태, 1997)

### 가. 건답직파

건답 직파재배는 발상태에서 파종하므로 파종작업이 용이하도록 토양수분의 조절이 필요하며, 출아 및 입모율을 높이기 위하여 본답초기에는 발상태로 재배하고 본엽이 3~4엽기에 달하였을 때 최초로 담수하여 이앙답과 같이 재배한다. 그러므로 건답직파재배에서 물관리는 파종후 입묘기간과 3~4엽기 후의 담수기로 구분하여 실시된다.

파종작업이 완료된 후 약간의 강우가 있으면 출아 및 입묘가 촉진되지만 너무 많은 강우는 오히려 토양을 과습하게 하여 매몰된 종자의 호흡을 억제하기 때문에 출아가 불균일 하고 입묘장해의 원인이 된다.

파종후 장기간의 한발로 토양이 과도하게 건조되면 출아를 돕기위하여 논 표면이 습윤상태가 되도록 관개해야 한다. 파종후 토양수분이 적정하면 10~15일 후에는 출아하게 되므로 이 기간은 발상태로 유지하여 공기 유통을 원활히 하여 출아를 돕고 뿌리활력을 높일수 있는 물관리가 필요하다(작물시험장, 김정일, 1995). 벼의 본엽이 3엽기가 되면 뿌리의 기능이 활발하고 이유기에 접어드는 입묘기에 해당된다. 이때부터는 담수하여 이앙재배와 같이 재배한다. 담수시기가 너무 늦으면 수수확보가 어렵고 관개일수에 의한 비료공급도 기대 할 수 없으므로 적기에

담수 하도록해야 한다.

낙수기의 물관리는 너무 일찍 낙수시켜 근활력이 저하되고 이삭으로의 양분전이가 잘 되지 않아 등숙불량으로 미질이 떨어지고 수량이 감소할 우려가 있으므로 적당한 시기를 선택하여 낙수 하여야 한다.

## 나. 담수직파

담수직파재배는 이앙재배보다 본답 생육기간이 20~30일이 길기 때문에 이앙재배보다 많은 관개수를 필요로 한다. 본답 준비에 있어서 정지, 씨레질 할 때 많은 양의 관개수가 필요한데 이때의 관개용수량은 토성, 지하수위, 경심 및 토양수분 함양에 따라 차이가 생긴다.

담수직파시 생육초기의 물관리는 물에 의한 보온효과를 높여 발아를 촉진하는데 목적이 있으므로 담수를 깊게하고 누수를 막아 수온상승을 피하여야 한다. 담수기간은 지역과 작부시기에 따라 다르지만 일반적으로 파종후 2~3주간은 심수관개를 하여 잡초의 발생을 억제하고 새의 피해를 줄여 입모율을 향상시키도록 한다. 또한 파종후 즉시 담수하는 것이 잡초발생과 단위면적당 이삭수를 증가시키는 것으로 나타났다(전병태, 1993)

그러나 심수관개가 항상 좋은 것은 아니다. 물을 깊게 오래 계속대면 출아율이 떨어지고 입모율이 낮아지므로 따듯한 날을 골라 낙수하여 눈그누기를 실시 해야 하며 심수 관개 기간은 본엽 2기까지이다. 심수관개 기간 중 강풍이 불면 활착하지 못한 종자가 한곳으로 쏠릴 우려가 있으므로 알게 대준다.

담수직파시 생육중기에서 후기(분얼기~등숙기)의 물관리는 간단관개와 중간낙수를 반복시행 해야한다. 이는 뿌리의 수직발달을 조장하고 활력을 증진시켜 등숙향상은 물론 도복도 경감시키므로 필히 실천해야 할 중요한 과제이다. 낙수시기와 그 후의 물관리는 이앙재배와 같다. 중간낙수는 1주일 정도 일찍 실시하여 과잉 분얼을 억제해야 한다.

## 2.2.5 직파재배 문제점 및 전망

건답직파재배는 건답 상태에서 경운 작업을 하게 되므로 논바닥의 지균이 불균일하여 관개 용수공급시 용수량이 증가하게 되고 파종후 강우가 있을 경우 종자가 부패하여 출아 및 입모율이 저하되며, 건답기간의 제초방제가 어렵고 출아시 새 및 쥐 등에 의한 피해가 우려되는 문제점이 있다.

담수직파재배는 담수 상태에서 발아되므로 용존산소가 부족하게 되어 발아가 부진하고 불균일하며 뿌리의 활착이 깊지 못하므로 부묘와 도복이 문제가 된다. 또한 잡초방제가 어렵고 본답 기간이 길어지므로 용수량이 증가하고 수리시설이 불안전한 곳에서는 용수의 제약을 받아 담수직파가 불가능 하게되는 등의 문제점이 있다.

또한 경영측면에서의 문제점은 답리작 생산이 어렵다는 점이다. 이모작의 경우 토지의 이용률이 높아지고 단위면적당 토지용역비가 상대적으로 낮아지기 때문에 직파에 의한 생산비 절감효과는 2모작의 이앙재배에 비하여 농업경영성과 측면에서 떨어진다. 그렇지만 일반적인 경우 생산비 및 노동력 절감의 효과가 크므로 이러한 문제점은 입묘율 향상, 직파전용 잡초방제 농약의 개발, 관개 및 배수시설의 확보, 지역적응품종의 개발에 대한 지속적인 연구로 해결될 수 있다.

그러므로 벼 직파재배에 대한 기술체계가 점차 확립되어 가면서 재배면적도 급증하고 있는 추세에 있으며 이러한 경향으로 볼 때 2000년도에는 전체 벼 재배면적의 60%가 직파재배를 실시할 것으로 예상되며, 직파재배는 기술적 효율과 경제적 효율이 있는 벼 재배사의 기술진보이므로 수용하는 농가가 대폭 늘어날 것으로 전망된다. 더욱이 농촌노임의 상승에 따라 그 확산 속도는 더욱 가속화 될 것으로 전망된다.

## 2.3 직파재배와 필요수량

물은 농작물의 성장에 있어 필요 불가결한 요소이지만 그 필요량의 정도는 작물의 종류, 재배목적, 재배방식, 생육시기, 기상조건 및 토양조건 등에 따라 달라

진다. 관개는 농작물의 생산을 목적으로 경지에 인공적으로 물을 공급하는 것이므로 그 필요한 시기와 수량을 정확히 파악할 수 있다는 것은 농업용수의 개발과 물의 효율적인 관리계획 수립에 있어 대단히 중요한 사항이다.

일반적으로 직파재배에 필요수량을 산정하기 위해서는 벼의 생육기간이 달라지게 되므로 이에따른 재배품종의 변화, 재배관리 방법, 강우조건 등을 고려해야 한다. 또한 토양의 침투성 및 담수심의 유지, 배수방법 및 헛수 등도 중요한 변수가 된다. 관개용수의 공급량은 특히 강우량에 의해 그 변동폭이 대단히 크다.

농업과학기술원 자료에 의하면 우리나라에서는 관개기간중의 유효강우량을 제외하였을 때에 이앙재배에서는 관개기간인 약 100일간에 838mm가 필요하고 건답작파의 경우 100일간에 998mm, 담수의 경우 130일간에 1,263mm가 필요한 것으로 나타났다. 이는 이앙재배에 비해 건답의 경우 19%가, 담수의 경우 51%의 관개용수가 더 필요함을 의미한다.

<표 2-4> 벼 재배방식별 관개용수량

| 방식별 | 관 개 기 간  | 관 개 일 수 | 관개용수 필요량(mm) |         |     |         |       | 유 효 강 우 (mm) | 관 개 용 수 (mm) |
|-----|----------|---------|--------------|---------|-----|---------|-------|--------------|--------------|
|     |          |         | 엽 면 증 발      | 수 면 증 발 | 침투량 | 정 지 용 수 | 계     |              |              |
| 이 앙 | 6.1~9.10 | 100일간   | 500          | 300     | 500 | 120     | 1,420 | 582          | 838          |
| 담 수 | 5.1~9.10 | 130일간   | 550          | 390     | 845 | 120     | 1,905 | 642          | 1,263        |
| 건 답 | 6.1~9.10 | 100일간   | 480          | 300     | 800 | -       | 1,580 | 582          | 998          |

※자료출처 : 농업과학기술원(1995)

그러나 이러한 자료는 단편적인 시험자료 이거나 일반적인 경향을 나타내는 자료이므로 벼 재배방식별 관개용수량은 생육기별 물관리 특성을 분석하고 이를 토대로 기상조건 및 토양조건등에 따라 결정되어야 할 것이다.

### 2.3.1 필요수량의 결정요소

작물의 필요수량은 영농에서 비롯되는 재배방식, 용수의 이용관리방식 또는 지형, 토양, 지질, 지하수위 등 포장조건의 변화와 기상조건, 수온, 수질 등의 변화에 따라 그 값이 변한다. 그리고 또한 수원공에서 포장수로에 이르기까지 시설의 형태, 기능, 용수 및 토지이용 등의 변화에 따라 달라질 수도 있다. 그러므로 적정한 작물의 필요수량을 산정하기 위해서는 농업의 형태, 시설형태, 용수이용의 변화 등을 고려하지 않으면 안된다. 벼 농사의 경우 필요수량의 구성인자는 증발산량, 침투량 및 감수심, 유효수량 및 배수량, 재배관리수량 및 시설관리수량으로 구분할 수 있다.

#### 가. 증발산량

증발산량은 답면의 수면증발량과 수도의 엽면증산량을 합하여 구할 수 있는데 이와같은 증발산량은 작물의 종류, 작부시기, 당시의 기상상황 등 여러 요인에 의해 많은 변화가 발생하며 실제 증발산량을 이와같은 요인에 의하여 정량화하는 것이 어려우므로 일반적으로 잠재증발산량을 산정한 후 작물의 종류, 작부시기 등에 따라 실제증발량과의 차이를 현장에서 분석하여 이를 작물계수로 조정하므로써 실제증발산량을 추정하는 방법이 사용되고 있다.

물은 논의 포장, 수면에서 증발하고 벼의 잎에서 증산하여 없어진다. 파종후의 초기단계에서 물소비는 주로 논의 증발량이다. 그러나 벼가 자라서 답면을 모두 덮을 경우 물의 소비는 주로 증산에 의해 없어진다. 이와같은 단계의 물소비를 증발산이라 하며 이 양이 벼재배에 필요한 전체 용수량의 80%를 점한다고 볼 수 있다. 우리나라의 경우 증발산량은 약 800~900mm 정도로 알려져 있다.

증발에 영향을 미치는 기상조건은 기온, 습도, 풍속, 일사량 등이며 증발량측정은 증발계를 이용한다. 그러나 증발계로 측정된 증발량과 논에서의 증발산량은 벼의 생육기간에 따라 차이가 있다. 일반적으로 파종한 직후의 증발산량은 대개

증발계 수치의 약 80%에 해당되며 벼가 자라면서 120%까지 증가하다가 수확기에 배수가 시작되면서 그 비율이 90%까지 떨어진다. 따라서 전체 관개기간을 통하여 증발산량과 계기증발량과의 비율은 거의 1에 가깝다고 볼 수 있다.

#### 나. 침투량 및 감수심

침투는 벼의 뿌리 아래 하층부의 토양으로 침투하는 물의 양을 말한다. 이와 같은 물은 지하로 침투하여 최종적으로 지하수가 된다. 어느 정도의 지하 침투량이 발생하는가는 토양의 표면에서 볼때 토층의 구조가 물을 쉽게 통수시키지 않는 구조가 바람직 하다. 어떤 작물에서도 지하침투량은 발생하고 최종적으로 지하수위를 상승시키는 역할을 한다. 따라서 벼의 생육을 위하여 담수하는 것은 지하침투량을 증대시키는 잇점이 있다. 그러나 물을 관리하는 사람의 경우 용수댁가의 절감과 지하수 상승의 억제, 또는 하층부에 염분이 있을 경우 염분상승의 억제를 위하여 용수의 지하침투를 최소로 할 필요성이 있다.

우리나라의 경우 토양에 따라 지하 침투량의 편차가 대단히 크나 일일 삼투량으로 볼 때 약 3~5mm/일로 볼 수 있고 심한 경우 7mm/일까지 나타나기도 한다. 일반적으로 관개기간 동안 전침투량은 약 500~800mm정도로 볼 수 있다. 외국의 경우도 그 편차가 심하여 작을 경우 100~300mm에서 크게는 1,000mm까지 되는 곳도 있다.

삼투량은 토양의 종류와 지하수위에 따라 큰 차이가 있으며 작물의 생육상태에 따라서도 다소 영향을 받게 된다. 이들 중에서 삼투량은 작물의 생육기간을 통하여 볼 때 비교적 안정된 값을 갖지만, 증발산량은 삼투량에 비하여 그 변화의 폭이 대단히 크다. 증발산량과 삼투량은 답에서 직접 소비되는 수량으로 일반적으로 작물소비수량으로 불리워진다.

#### 다. 유효수량 및 배수량

논에 떨어지는 강우의 일부는 벼잎에 차단되는 것과 함께 논바닥에 도달하여 벼 생육에 직접 이용될 수 있다. 유효수량이란 상기와 같이 논바닥에 도달한

강우중에서 논바닥에 저류되어 벼 생육에 이용되는 수량을 말한다. 그러므로 논 필요수량 산정시에는 작물 소비수량과 강우에 의한 유효우량을 고려하여 실제 필요수량을 산정하여야 한다.

담수를 유지하고 있는 포장에서 어느 일정 수심을 초과할 경우, 공급된 물의 일부는 월류되지만 물 소비량 전체와 비교해 보면 그 양은 매우 적다. 그러나 물관리의 방법에 따라 이 배수량이 전체 공급량의 많은 부분을 점할 때가 가끔 있다. 벼를 재배하는 사람은 일반적으로 논에 수심이 일정하게 유지되도록 원하므로 용수공급은 적당하게 하여야 한다. 즉 원하는 수심을 유지시키기 위하여 증발산에 의해 감소된 물을 공급하여야 한다. 실제 답에서 이와같은 물관리는 매우 어려우므로 강우가 있을 경우 여분의 물이 자연적으로 배수될 수 있도록 한다. 그리고 관개기간 중에 배수되는 물의 양은 강우량에 따라 다르지만 그리 많지는 않다. 결국 물관리의 최대 목적은 배수에 의한 손실량을 최대한 줄이는데 있다. 그러므로 경제적으로 용수공급을 적절히 하여 용수갯가를 줄이고 물을 절약하는 것이 배수의 목적이라 할 수 있다.

#### 라. 재배관리수량

실제 논에서 벼 재배환경을 개선시키는데 소비되는 수량에는 증발산량 및 삼투량 뿐만 아니라 논에서의 여러가지 재배기술상의 물관리를 가능하게 하기 위해 소비되는 수량이 필요하게 된다. 논에 있어서 담수심을 일정하게 유지하기 위하여 심수, 천수 등 담수심을 변화시키고 또는 일정한 기간 비담수상태로 하든지 혹은 간단적으로 단수시킨다든지 더 나아가서 고온장애의 방지를 목적으로 한 내리흘림식 관개 등을 실시하기도 한다. 이와같은 물관리 방법은 저온장애나 고온장애 방지 등을 비롯해서 생산량의 증대, 품질개선, 농작업의 효율향상 등을 목적으로 하는 물관리다. 따라서 상기 방법에 의한 물관리는 강제적 낙수 또는 내리흘림식 관개에 의한 표면유출의 형태로 포장 밖으로 유출되는 필요수량이 발생

할 수도 있다.

논에서의 관개기간 중 물관리는 논면의 담수조절과 침투량 조절 등 양자를 고려해야 한다. 논면의 담수조절 즉 담수심 유지는 작물의 생육기별 용수의 필요도에 의해 결정되며 그 밖의 발아촉진, 생육촉진, 냉해방지 등 재배기술상의 필요에 의해서 좌우될 수도 있다.

논 소비수량 및 재배관리용수량은 무엇 보다도 재배양식 변화에 따라 민감하게 변화하게 된다. 담수직파나 건답직파로 재배양식이 변화되었을 경우 재배기간의 변화, 물관리 방법의 변화 등에 기인하는 결과가 바로 이를 증명해 주고 있다.

#### 마. 시설관리수량

그 밖의 필요수량으로서는 시설관리수량이 있다. 시설관리용수는 용·배수로 시스템 중에서 손실되거나 필요한 수량으로서 송수손실, 용수의 분수, 배수(配水)를 확실하고도 용이하게 하는 배수관리수량 및 수로 등의 기능을 유지, 보전하기 위한 용수로로 구분할 수 있다. 이와같은 수량의 결정을 위한 송수손실수량에 대해서는 지구의 입지조건, 수로의 연장 및 수로의 형태 등을 감안 하여야 하고, 배수관리수량에 대해서는 수로형식의 관리조직, 관리체제, 시설 장치화의 정도, 논 의 분산상황 등을 고려해야 한다.

### 2.3.2 필요수량의 변화요인

건답직파재배는 썩레질을 생략하게 되므로 포장에서의 필요수량에 큰 변화를 가져온다. 일반적으로 사질토나 암거배수 등에 의해 건답화가 진행된 논은 심토층에서 투수성이 커지게 되며, 또한 관개기에도 지하수위가 상승하지 않는 논에서 그 변화가 현저한 것으로 알려지고 있다. 건답직파 재배시 썩레질 용수량은 불필요하게 되는데 그 대신 초기관개용수량이 많이 필요하게 된다. 이는 심토층의 투수성이 커지게 되어 침투량이 증가하기 때문이며 관개후 10~20일에서 대체적으

로 안정된 값까지 저하되는데 안정된 후에도 보통 이양재배에 비하여 큰 값을 나타낸다.

그러나 건답직파재배에서는 이양재배에 비해서 담수기간이 20~30일 정도 짧게 되므로 초기용수량이 증대해도 관개기간 중의 총용수량은 그다지 증가하지 않는다. 그러므로 저수지 등의 수원공 계획을 위하여 침투량의 증가와 경작시기의 이동, 담수기간의 단축 등에 따라 시기별 필요수량도 검토해야 한다.

담수직파의 경우는 필요수량의 증가가 현저하다. 이는 육묘, 이양과정이 생략되고 본답에 즉시 파종하기 때문에 본답에서의 씨레·정지용수와 파종하기 위한 재배관리수량이 증가할 뿐만 아니라 이양재배에 비해 담수기간이 20~30일 정도 증가하며 이 시기가 일반적으로 비강우기에 속하기 때문에 수원에서 공급해 주어야 할 수량은 더욱 증가하게 된다. 다만 작물 소비수량인 증발산량과 삼투량만을 고려 할 경우에는 이양재배와 별로 다를 바가 없다. 이와같이 직파재배를 고려하여 필요수량을 산정하기 위해서는 다음과 같은 요인들을 고려해야 한다.

### 가. 물관리 방식

최근의 기계화, 생력화를 중심으로 새로운 재배방식이 각지에서 보급되기 시작하였다. 예를 들어 벼에 대하여 육묘, 이양 과정을 생략하고 논에 직접 파종하는 건답직파, 또는 담수직파법이 그 대표적인 예이다. 이 새로운 재배방식은 종래와는 전혀 다른 관개기 초기의 물관리를 요구함은 물론 필요수량 자체에도 큰 영향을 미친다. 또 논외 고도이용(논·밭윤환, 답리작의 실시)에 따른 논 이용체계의 변화라든가 한냉지의 심수관개 실시 등은 토양조건이나 경작기간의 변경, 물관리 방식의 변화를 가져왔고, 생육기별 필요수량에도 변화가 예상되고 있다.

또 집단적으로 실시하는 방제작업도 넓은 면적에 대하여 동시에 배수할 것을 전제로 실시하므로 낙수후 일시에 재담수할 경우 대량의 용수가 필요하게 된다. 집단적으로 병충해 방제나 제초작업을 할 경우 일단 논외 물을 배수 시켜야 하는

경우도 있다. 이와 같은 경우에는 재담수시 일시적으로 논 필요수량이 크게 증가하는 경향이 있다.

#### 나. 작부시기의 변경

작부시기 변경의 원인으로서는 논·밭윤환 또는 답리작의 도입 및 폐지등에 따른 영농작물의 혼합, 벼 품종의 변화, 조기이앙 실시 등을 들 수 있다. 작부시기의 변경에 따라 필요수량에 고려해야 할 점은 물관리에 따른 침투량 변화와 기상조건 변화에 따른 증발산량을 생각할 수 있으며 증발산량의 변화 보다 물관리의 변화에 따른 침투량 변화가 크다. 침투량은 중간 낙수를 전후하여 크게 달라지므로 관개기간과 관개시기에 있어서 시기별 필요수량을 변경, 공급하여야 한다.

#### 다. 포장 조건의 변화

직파재배가 확대될 경우 이에 적합한 포장조건의 변화가 예상된다. 밭으로 이용하다가 다시 논으로 전환한 경우에는 밭으로 이용했을 때의 투수성이 논으로 이용하였을 때의 투수성 보다 좋아졌기 때문에 일반적으로 초기용수량 및 중간낙수 후의 침투량이 증가하는 경향이 있다.

경지정리나 용·배수분리 등이 실시되면 논에서 필요수량이 변화하게 된다. 실제로 수원공의 설계에서는 이와 같은 상황을 고려해 주어야 한다. 용·배수 겸용인 논지대 및 내리홀림식 관개지역에서 용·배수조직을 분리시켜 경지정리를 할 경우 논 필요수량 변화를 수반한다. 일반적으로 용·배수조직이 분리되고 건답화가 진전되면 증발산량 및 침투량이 증가 할뿐만 아니라 논에서의 재배관리 용수도 증가하게 된다. 이는 반복이용 기회의 상실, 지하수위의 저하에 따른 침투량의 증가 등에 기인한다.

구획확대에 따른 논 필요수량의 변화는 침투량과 재배관리용수량의 증가를 의미한다. 구획확대에 따라 물꼬에서 취수량이 적을 경우 관개용수는 말단까지 도달할 수 있지만 관개중의 침투량이 증가하게 되고 논의 수평 정밀도가 나빠지는

경우 담수를 확보하기 위해서 평균담수심이 필연적으로 커지므로 필요수량이 증가하게 되어 관개용수의 부족이 발생하게 된다.

## 2.4 수리시설물에 미치는 영향

영농방식의 변화에 따른 논 필요수량의 변화는 필연적으로 기존 수리시설물의 용수공급능력 검토의 필요성 및 앞으로 축조해야 할 시설물에 대한 새로운 기준정립이 요구된다. 이와같은 기준은 합리적이고 체계적인 연구의 바탕 위에서 결정되어야 하며 본 연구의 최종 목적도 이러한 요구를 충족시키는데 중점을 두어야 할 것이다.

일반적으로 직파재배에 따른 필요수량의 변화는 수리시설물에서 공급해주어야 할 수량 뿐만아니라 관개시기 및 관개방법의 변화까지도 요구하게 된다. 또한 직파재배가 노동력 절감을 위한 방법이므로 물관리 방법에서도 생력적인 방법을 요구하게 될 것으로 예상된다. 그러므로 이러한 변화요구는 수리시설물의 규모 및 시설설계에 영향을 미칠 것으로 예상되며 예상되는 영향요소들은 다음과 같은 것들이 있다.

### 2.4.1 영향요소

직파재배에 따른 필요수량의 변화는 크게 작부시기가 변경됨에 따라 용수시기가 변하게 되는 요소와 포장조건이 변하게 됨으로 발생하는 침투량 및 감수심의 변화요인 및 정밀 물관리를 위한 배수량의 증가 등으로 볼 수 있다. 따라서 이러한 변화요인들은 수리시설물에 대하여 다음과 같은 변화를 수반하게 될 것이다.

#### 가. 관개수량

직파재배에 따라 필요수량의 증가요인들은 앞에서 살펴본 바와 같다. 따라서 동일 관개면적에 대한 관개용 수리시설물에서 공급해 주어야할 양이 증가함을

의미한다. 공급수량은 농업용 저수지의 경우 총 저수량을 증가시켜야 하고 또한 집중적인 용수수요에도 대응되도록 해야한다.

## 나. 관개시기

직파재배에서는 재배품종뿐만 아니라 재배시기가 변하게 되며 이에따라 용수를 필요로하는 시기도 달라지게 된다. 담수직파의 경우 본답에 바로 파종하고 관개하게 되므로 파종기부터 다량의 용수수요를 수반하게 된다. 이는 담수직파가 지방에 따라 다르지만 5월 초순부터 파종기가 되므로 이때부터 이양재배 본답기에 해당하는 관개용수를 공급해주어야 한다. 또한 건답직파 재배지의 경우 관개시기가 이양재배 보다 늦어지게 되나 초기 담수시 집중적인 용수수요가 발생하게 된다.

## 다. 관개조직

관개조직에 미치는 영향은 두가지 측면에서 생각할 수 있다. 용수증가에 따른 수로조직 크기의 변경 및 용수수요가 집중적으로 발생할 경우에 대한 수로조직의 변경이다. 다른 측면에서는 직파재배에 따른 배수처리를 위한 배수로 등의 조직에 영향을 미치는 점이다. 직파재배에서는 관개 및 배수를 반복하는 물관리가 필연적이므로 배수가 원활하지 못할 경우 직파재배는 사실상 어렵다.

## 라. 관개효율

직파재배에 따라 수리시설물에서 공급해주는 용수의 효율성 측면도 검토해야 한다. 배수와 관개가 반복됨에 따라 불필요한 용수의 증가가 예상될 수 있으며 직파 물관리를 위한 비담수기 때의 관개는 관개효율의 저하를 초래할 수 있다. 여러가지 영향 요인에도 불구하고 관개용 저수지의 필요저수량의 변화 및 단위용수량의 변화는 여러 가지 문제를 야기시킬 수 있으므로 충분한 검토가 이루어져야 한다.

## 2.4.2 필요저수량의 변화

필요수량은 작물의 적정 성장을 유지하기 위하여 공급해 주어야 할 수량이다. 이와같은 필요수량은 자연적인 경우에 의존하기도 하며 하천수나 호소 등의 비시설물에서 공급받기도 한다. 그러나 이와같은 비시설적인 것들은 가뭄등 자연적인 재해에 민감하여 안정적인 용수공급원이라 할 수 없다. 그러므로 농업용저수지등을 축조하여 부족한 수량을 저류하여 필요시 공급해야 한다.

'97년말 현재 우리나라의 농업용 저수지는 18,179개소에 이르며 여기서 공급하는 농업용수는 전체 담면적의 약 50%에 이르는 510천ha에 달한다. 그 외에 양수장, 보, 관정 등 수많은 수리 시설물이 있다. <표 2-5>는 '97년말 현재 우리나라의 수리시설물 현황을 보여 주고 있다.

<표 2-5> 전국 수리시설 현황

(단위 : 개소)

| 총 계    | 저수지    | 양수장   | 양배수장 | 배수장 | 보      | 집수거   | 관정     |
|--------|--------|-------|------|-----|--------|-------|--------|
| 58,454 | 18,179 | 5,376 | 118  | 333 | 18,455 | 3,970 | 12,023 |

※ 자료 : 농림업 주요통계(1997, 농림부)

상기 시설물들은 보통 영농방식의 변화를 고려하지 않고 과거의 기준에 의해 설계되었으며 또한 운영, 관리되고 있다. 농림부에서는 2000년대에 논 면적의 60%가 직파재배를 하게 될 것으로 예상하고 있으므로 앞으로의 벼 재배방식은 직파재배가 주종을 이루게 될 것이며 계획되로 되지않는다 해도 벼 재배에 있어서 영농방식의 변화는 불가피하다. 그러므로 이와같은 변화가 저수지에서는 필요저수량의 부족 또는 증가 형태로 나타날 것이며 따라서 이에 대한 대비책이 필요한 실정이다.

## 2.4.3 단위용수량의 변화

용수로 등의 수로구조물을 설계하기 위해서는 최대용수시기에 단위면적

에서 단위시간당 필요수량을 산정하여야 한다. 이와같이 용수로 설계의 기준이 되는 용수량을 단위용수량이라 한다(농지개량사업계획 설계기준, 관개편).

작물이 물을 가장 많이 필요로 하는 시기는 일반적으로 작물의 성장이 최고로 왕성하여 증발산량이 최대가 되는 시기가 된다. 그러나 담수를 필요로 하는 벼의 경우에는 영농방식의 변화뿐 만 아니라 이앙기간의 단축, 집단적 중간낙수 또는 집단적 병충해 방제 등에 필요한 단시일내의 물수요량에 따라 단위용수량이 증발산량 최대시기의 물수요량을 능가하는 경우가 있다. 이와 같이 관개수량이 가장 많이 필요한 시기를 최대용수시기라 하고, 이 최대용수시기에 필요로 하는 용수량을 최대용수량이라 한다.

최대용수량은 일반적으로 유효수량을 고려하지 않고 최대용수시기의 소비수량을 기준으로 하여 산정한다. 전통적인 이앙재배에서는 이앙기의 이앙용수와 증발산량이 가장 많은 시기의 소비수량과 비교하여 최대용수량을 결정한다. 그러나 직파재배에 따라 이러한 물수요 구조가 변하게 되고 용수의 집중도도 달라지게 되므로 최대용수시기와 최대용수량도 변하게 된다. 건답재배에서는 건답상태에서 최초로 담수관개로 전환시 최대용수시기가 발생할 것이며 담수직파에서는 집단적인 논군히기 또는 논그누기 중에 최대용수시기가 발생할 것으로 예측된다. 따라서 이와 같은 최대용수량 또는 단위용수량의 변화는 용수로의 간선 또는 지선의 규모에 영향을 미치게 될 것이다.

## 제3장 직파현황 및 물관리 특성 조사

3.1 직파재배 현황

3.2 생육기별 물관리 특성

3.3 수원공별 직파현황

3.4 직파적지 조사

# 여 백

## 제3장 직파현황 및 물관리 특성 조사

### 3.1 직파재배 현황

#### 3.1.1 벼 재배유형의 변화

최근의 쌀농사 여건의 변화는 벼 재배유형의 변화에서도 찾아 볼 수 있는데 벼 생산비 절감 및 양질의 쌀을 생산하기 위해 기존의 중묘 육묘에 소요되는 노력을 단축시킨 어린모 기계이앙 재배방식과 보다 노동력 절감 효과가 크고 대형 기계화에 의한 작업이 용이한 직파재배방식이 그 근간을 이루고 있다.

직파재배는 '90년대부터 일부농가에 보급되기 시작하여 '94년을 정점으로 급속히 확대되기 시작하였으며 '97년 현재에는 110천ha에 달하고 있다. <표 3-1>은 연도별 벼 재배유형별의 변화를 보여주고 있으며 어린모 기계이앙 및 직파재배 기술의 보급추이도 알 수 있다.

<표 3-1> 연도별 벼 재배유형의 변화

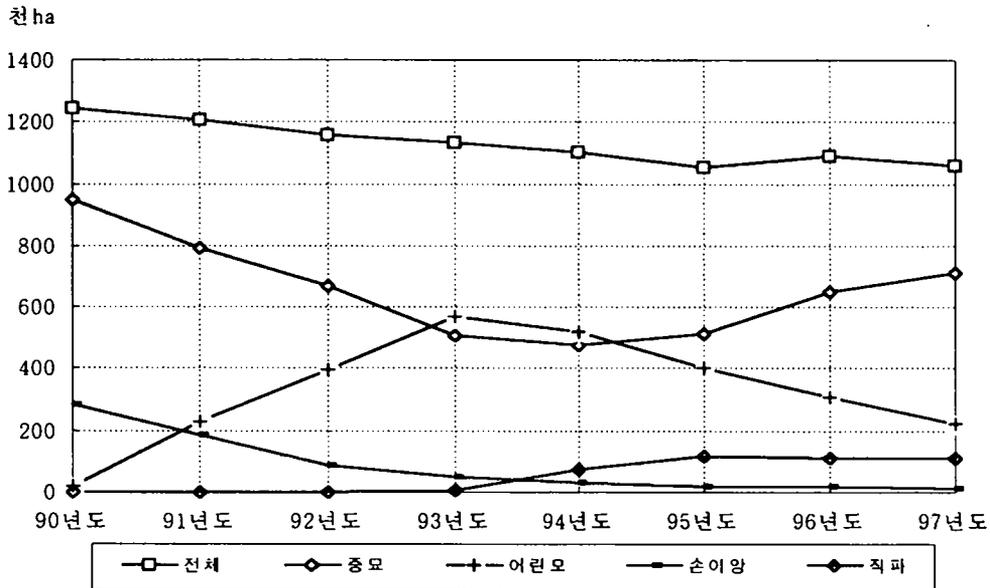
(단위 : 천 ha)

| 구 분     | '90   | '91   | '92   | '93   | '94   | '95   | '96   | '97   | 비 고 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 벼 재배면적  | 1,244 | 1,208 | 1,157 | 1,136 | 1,103 | 1,056 | 1,091 | 1,062 |     |
| 기 계 이 앙 | 중 모   | 946   | 794   | 672   | 506   | 474   | 514   | 652   | 714 |
|         | 어린모   | 17    | 230   | 395   | 573   | 523   | 403   | 312   | 225 |
|         | 소 계   | 962   | 1,024 | 1,067 | 1,079 | 997   | 917   | 964   | 939 |
| 손 이 앙   | 282   | 183   | 87    | 49    | 33    | 21    | 17    | 13    |     |
| 직 파 재 배 | 건 답   | -     | 0.3   | 2     | 4     | 35    | 68    | 65    | 57  |
|         | 담 수   | 0.1   | 0.6   | 1     | 4     | 38    | 50    | 45    | 53  |
|         | 소 계   | 0.1   | 0.9   | 3     | 8     | 73    | 118   | 110   | 110 |

※ 자료출처 : 농촌진흥청 기술지도국, 농림부

상기 표에서 알 수 있는 바와 같이 생력재배의 일환으로 '91년 부터 적극 권장 되던 어린모 기계이앙은 '93년을 정점으로 점차 감소하고 있으며 중묘 이앙은 어린모 이앙의 증가에 따라 감소하다가 최근에는 다시 증가하는 추세를 보이고 있다. 이는 직파재배의 확대에 따른 영향으로도 볼 수 있으나 전체적인 기계이앙 면적의 변동이 적은 것으로 보아 생력효과가 예상보다 적은 결과로 추정된다.

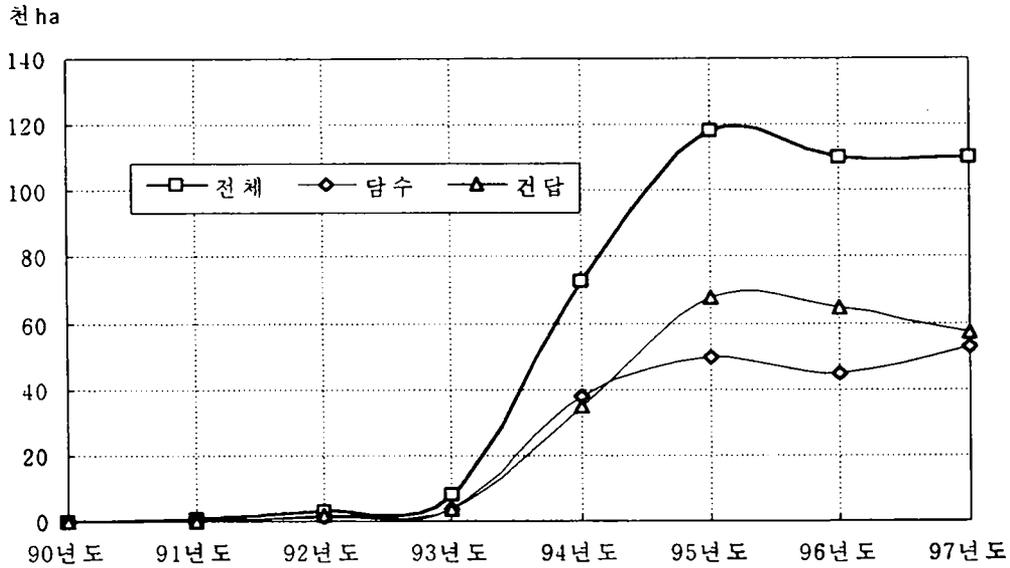
연도별 재배유형의 변화과정을 도시하면 <그림 3-1>과 같다.



<그림 3-1> 연도별 벼 재배유형의 변화

직파재배의 유형인 건답과 담수직파를 비교해 볼 때 초기에는 담수직파가 조금 우위를 점하고 있었으나 '94년 이후부터 건답직파가 주류를 형성해 가고 있다가 '96년 이후에는 건답 및 담수직파가 비슷한 경향을 나타내고 있다.

<그림 3-2>는 건답직파와 담수직파의 재배면적 변화추이를 보여주고 있다.

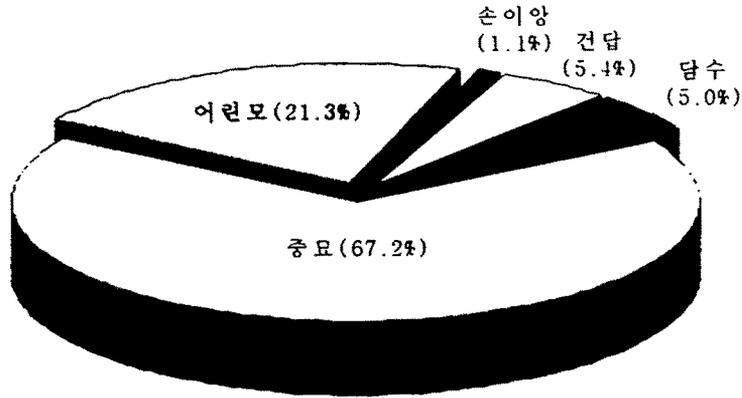


<그림 3-2> 직파 재배면적 변화 추이

### 3.1.2 '97 직파재배 현황

직파재배는 '91년에 건답직파 농가 시범재배가 시작된 이래 '92년 3.0천 ha, '93년 8.0천ha, '94년 73.0천ha, '95년 118.0천ha로 급속히 증가하여 왔으나 '96년에는 쌀증산 정책으로 인해 110.0천ha로서 약간의 감소 추세를 보였으나 금년도는 전년과 비슷한 경향을 나타내고 있다.

'97년도의 직파재배현황을 보면 전체 벼 재배면적 1,062,904ha 중 직파재배면적은 110,562ha로 10.4%를 차지하고 있으며 이 중 건답직파는 57,178ha로서 전체직파면적의 51.7%, 담수직파는 53,384ha로서 48.3%를 차지하고 있다. '97년도의 벼 재배양식별 유형은 <그림 3-3>과 같다.



<그림 3-3> '97 벼 재배유형별 분포도

직파재배 현황을 중부, 남부 권역으로 구분하여 논 면적에 대한 직파면적 비율 및 직파면적에 대한 건담, 담수의 비율을 나타내면 <표 3-2>와 같다.

<표 3-2> 중, 남부별 직파재배 현황

(단위 : ha, %)

| 구분 | 논 면적<br>(A) | 직파면적    |       | 건담직파   |       |       | 담수직파   |       |       |
|----|-------------|---------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|
|    |             | 면적(B)   | (B/A) | 면적(C)  | (C/A) | (C/B) | 면적(D)  | (D/A) | (D/B) |
| 계  | 1,062,904   | 110,562 | 10.4  | 57,178 | 5.4   | 51.7  | 53,384 | 5.0   | 48.3  |
| 중부 | 429,111     | 26,942  | 6.3   | 7,798  | 1.8   | 28.9  | 19,144 | 4.5   | 71.1  |
| 남부 | 633,793     | 83,620  | 13.2  | 49,380 | 7.8   | 59.0  | 34,240 | 5.4   | 41.0  |

중부지방의 경우 전체 논면적에 대한 비율은 6.3%이며, 건담과 담수직파 비율은 담수직파가 71.1%를 점하고 있어 중부에서는 담수직파가 주류를 이루고 있는 것으로 나타났다. 남부지방의 경우는 직파면적 비율이 13.2%로 전국평균 보다 높으며 담수보다 건담직파가 우세한 재배방식임을 알 수 있다.

도시 지역을 제외한 8개도 중 직파재배 면적이 가장 많은 도는 전남으로서 전체 식부면적 205,991ha의 20.6%인 42,457ha를 차지하고 있으며 다음은 충남으로서 식부면적 176,267ha의 12.8%인 22,604ha 이다. 충남의 직파재배면적이 전년에 비해 많은 것은 서산 간척지의 직파재배 면적을 포함 하고 있기 때문이다.

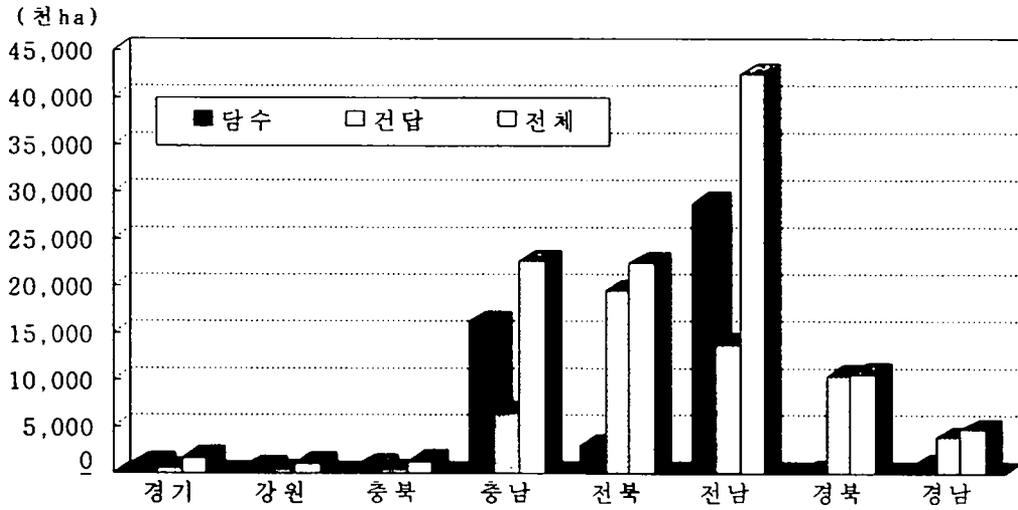
전국직파현황을 그림으로 나타내면 <그림 3-4>와 같으며 시도별 재배유형 및 직파현황은 <표 3-3>과 같다.

<표 3-3> 시도별 벼 재배방식별 면적

(단위 : ha)

| 시도 | 계         | 재 배 방 식 별 면 적(ha) |         |         |         |         |        |        |
|----|-----------|-------------------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
|    |           | 기 계 모 내 기         |         |         | 손 모 내 기 | 직 파     |        |        |
|    |           | 소계                | 어린모     | 중 모     |         | 소계      | 건답     | 담수     |
| 전국 | 1,062,904 | 939,635           | 225,793 | 713,842 | 12,707  | 110,562 | 57,178 | 53,384 |
| 서울 | 684       | 650               | 298     | 352     | -       | 34      | 34     | -      |
| 부산 | 5,819     | 5,344             | 2,716   | 2,628   | 45      | 430     | 430    | -      |
| 대구 | 6,070     | 4,960             | 2,271   | 2,689   | 279     | 831     | 831    | -      |
| 인천 | 18,265    | 17,865            | 890     | 16,975  | 14      | 386     | 166    | 220    |
| 광주 | 9,346     | 7,101             | 3,458   | 3,643   | 115     | 2,130   | 510    | 1,620  |
| 대전 | 3,017     | 2,926             | 133     | 2,793   | 59      | 32      | 25     | 7      |
| 경기 | 124,313   | 122,520           | 7,029   | 115,491 | 153     | 1,640   | 476    | 1,164  |
| 강원 | 46,567    | 45,464            | 7,396   | 38,068  | 70      | 1,033   | 315    | 718    |
| 충북 | 59,998    | 58,486            | 18,132  | 40,354  | 299     | 1,213   | 322    | 891    |
| 충남 | 176,267   | 152,873           | 51,261  | 101,612 | 790     | 22,604  | 6,460  | 16,144 |
| 전북 | 155,644   | 132,936           | 26,985  | 105,951 | 279     | 22,429  | 19,534 | 2,895  |
| 전남 | 205,991   | 161,895           | 68,489  | 93,406  | 1,639   | 42,457  | 13,724 | 28,733 |
| 경북 | 136,732   | 121,665           | 19,520  | 102,145 | 4,409   | 10,658  | 10,456 | 202    |
| 경남 | 114,025   | 104,900           | 17,215  | 87,685  | 4,463   | 4,662   | 3,872  | 790    |
| 제주 | 166       | 50                | -       | 50      | 93      | 23      | 23     | -      |

※ 자료출처 : 농림부 '97행정조사



<그림 3-4> 각 도별 직파재배 현황

### 3.1.3 경작자 조사

경작자의 직파재배 일반현황 및 물관리방법을 조사하였다. 시·군의 농촌 지도소 및 면단위의 농어민 상담소의 경작자 자료를 활용하여 조사에 임하였다. 조사인원은 6개소 농조별 10인으로 전체적으로 60인에 대하여 직접방문 조사 및 재배현장을 답사 하였다.

#### 가. 직파재배 면적 및 품종

조사대상 경작자의 경작규모는 일반농가에 비해 상대적으로 큰 규모였다. 담수직파 경작자의 직파 면적은 평균 1.4ha, 건답직파는 평균 2.1ha이며 전체평균은 1.9ha로 우리나라 호당 평균 벼 경작면적 0.90ha(농수산 주요통계, 1997)를 크게 상회하고 있었다. 또한 경영규모가 큰 농가 일수록 건답직파를 선호하고 있어 건답직파가 현재의 농업구조하에서는 경영의 확대에 유리함을 알 수 있다.

중부지방 경작자의 평균 직파재배면적은 1.8ha, 남부지방은 2.0ha로 남부지방이 중부지방 보다 조금 앞선 호당 직파 경작면적을 나타내고 있었고, 평야지 지역의

평균 경작면적은 2.2ha로 산간지 지역의 1.6ha를 앞서고 있는 것으로 조사 되었다.

또한 전북농조 및 예당농조 등의 대규모 관개지역에서는 경작자 평균 직파면적이 2.6ha로 조사되어 직파가 대 경작자를 중심으로 노력비 절감 차원에서 시행되고 있음을 알 수 있었다.

재배품종 조사결과 가장 많이 재배되고 있는 품종은 동진, 화성, 일품, 영남, 화남, 일미벼의 순으로 나타났고 전체적으로 12개 품종이 조사되었다. 건담의 경우 동진벼가 재배품종 중에서 48.8%로 가장 많았으며 다음으로 화성, 영남, 화남벼 등도 많이 재배되고 있었으며 주로 중만생종을 선호하고 있는 것으로 나타났다. 담수의 경우 일품벼가 많았으며 화성, 대안, 동진벼 등 8개 품종이 재배되고 있는 것으로 조사되었다.

#### 나. 파종방법 및 파종량

조사대상자의 파종방법은 전용직파기에 의한 기계파종이 86.7%로 그 주종을 이루고 있었다. 건담직파의 경우는 100%가 직파기에 의한 파종이었으며 파종기는 6조식 승용직파기, 8조식 직파기, 개량 12조식 및 4조식을 사용하고 있었다. 파종방법은 평면줄뿌림은 없었고 모두 휴림줄뿌림을 하여 봄가뭄에 대비 발아용수를 공급할 수 있도록 고랑을 두고 있었다.

담수직파의 조사대상 19개소 중 6조식 승용직파기를 사용하는 농가는 57.9%인 11명이었으며 이들은 모두 무논골뿌림 재배방법을 택하고 있었고 나머지 42.1%인 8명은 손산파에 의한 파종 방법을 택하고 있었는데 간척지와 경영규모가 작은 농가에서 주로 손산파에 의해 파종을 하기 때문이다.

직파 파종량은 대체적으로 농촌진흥원 등의 기술지침을 준수하고 있는 것으로 나타났으며 권장하는 파종량은 건담의 경우 4~6kg/10a, 담수의 경우는 3~5kg/10a였으며 농가를 대상으로 조사한 결과 건담의 경우 평균 5.5kg/10a, 담수의 경우는 평균 4.0kg/10a가 소요되는 것으로 조사되었다.

#### 다. 직파토양 및 표고

조사 경작자의 토양구분에서는 점질토양 보다 사질토양에서 직파재배가 많은 것으로 나타났다. 사질토양의 경작자는 59.3%, 점질토의 경작자는 40.7%였으며 건답의 경우 사질토가 61%, 점질토가 39%로 나타났고, 담수의 경우는 사질토가 55.6%, 점질토가 44.4%로 나타나 건답, 담수 모두 배수가 불량한 점질토양 보다는 배수가 원활하고 적정 감수심을 유지할 수 있는 사질토양이 직파재배에 적합한 토양임을 알 수 있다.

직파재배 경작자 논의 해발표고는 전체적으로 45%가 EL.m 0.0~20.0사이 이며 EL.m 100.0 이하에서 88.3%로 나타났다. 이는 중,남부에 적용되는 한계표고 이하에서 직파를 시행하고 있는 결과이며 일부 한계표고 이상의 재배농가는 건답직파는 없었으며 파종기 때의 보온효과를 기대할 수 있는 담수직파를 선호하고 있었다.

#### 라. 직파동기 및 년수

직파를 하게된 동기는 주로 농촌지도소 또는 주위 직파재배농가의 권유가 가장 많았으며 주변에서 하는 것을 보고 노력비, 노동력, 노동시간을 절감하는 차원에서 자발적으로 참여한 농가가 대부분이었다.

조사된 경작자의 직파 경력은 60명 전체에 대하여 평균 4~5년으로 조사 분석되었다. 가장 오래된 경력은 8년으로 건답재배에서 2인 이었으며 이들은 선도 농가로서 직파재배를 처음 시작했음을 알 수 있다. 평균 직파재배 년수는 건답 4.0년, 담수 3.7년으로 조사되었다.

#### 마. 직파재배 문제점

응답자중 많은 사람이 배수처리 문제를 어렵게 생각하고 있었다. 이는 건답과 담수 모두에 적용되는 것으로 건답의 경우 점질토 지역이나 평야지에서 봄강우 또는 주위 못자리 등의 침투수에 의한 배수처리가 어려웠으며 담수직파는 논밭히

기나 눈그누기시 배수로나 기타 주위의 여건 때문에 완전배수가 어려워 파종이나  
입묘확보에 실패하는 경우도 있었다.

또 다른 한편으로 답의 지균이 고르지 못해 물관리에 어려움을 겪고 있었으며  
용수가 부족한 지역도 많아 관정, 하천수에만 의존하는 지역도 있었다.

많은 경작자가 3년이상 연작시 예상하지 못했던 여러가지 문제점이 발생할  
우려가 있다며 병충해 증가, 소출 감소를 지적하고 있었다. 답수의 경우는 직파기  
에 대한 문제점을 지적하는 경우가 많았으며 장비를 갖추는데 필요한 비용도 문제  
로 지적하였다. 파종시의 조류피해 문제, 배수불량, 제초제 등의 소모 증가 등도 지  
적된 것이다.

직파에 대한 전망은 전반적으로 동일한 의견으로 나타났다. 조사대상 60명중  
계속 직파를 하겠다는 응답이 56명으로 대부분이었다. 이중 2명은 '98년에는 재배  
면적을 증대할 계획이었고, 또한 3명은 연작 피해, 논의 지균 문제를 우려 건답에  
서 답수로 직파방법을 변경하겠다고 응답하였다. 나머지 4명은 이앙재배 전환을  
계획하고 있었다. 이들은 입묘확보 실패와 제초실패의 경험으로 인한 심리적 부담  
과 경제적 손실 때문인 것으로 나타났다.

### 3.1.4 수확량 조사

영농방식의 변화에 따른 벼 재배의 성패는 수확량에 따라 판단할 수 있  
다. 그러나 수확량조사는 통계학적인 전문 지식을 필요로 하고 있어 조사에 어려움  
이 있고 자료를 구하는데도 쉽지 않았다. 전문 조사기관으로서는 농업통계사무소가  
있으며 여기에서 작황조사 및 예상량 조사, 실수확량 조사를 실시하고 있다. 또한  
농업시험장등 연구기관에서도 시험포에서의 실험성과를 수확량으로 확인하고 있었  
다. 다음 자료는 '92년도에서 '97년도의 전체 재배면적에 대한 시도별 및 전국평균  
단위수량을 나타내고 있으며 6개년 평균은 467kg/10a로 나타났으며 최근의 단위수  
량이 급격히 증가하였는데 이는 최근의 기상여건의 호조때문으로 파악되고 있다.

<표 3-4> 시도별 논벼 생산량

(단위 : kg/10a)

| 구 분 | 경기  | 강원  | 충북  | 충남  | 전북  | 전남  | 경북  | 경남  | 평균  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| '92 | 467 | 418 | 450 | 484 | 517 | 448 | 451 | 423 | 461 |
| '93 | 454 | 297 | 422 | 465 | 502 | 419 | 337 | 360 | 418 |
| '94 | 451 | 422 | 448 | 480 | 502 | 454 | 455 | 434 | 459 |
| '95 | 424 | 376 | 448 | 441 | 484 | 454 | 453 | 444 | 445 |
| '96 | 495 | 456 | 499 | 528 | 535 | 517 | 493 | 495 | 507 |
| '97 | 497 | 471 | 514 | 561 | 537 | 538 | 505 | 485 | 514 |

※ 출처 : 농림업 주요통계, 농림부, 1997('97년도는 농림부 통계자료 임)

일반적으로 직파재배에 의한 수확량은 기계이앙 보다 약간 저조한 것으로 알려져 있다. '92년도에서 '95년간의 연평균 10a당 수확량은 기계이앙의 경우 447kg, 직파의 경우 429kg으로 보고되고 있다(농촌진흥청 농업경영관실). 다음 <표 3-5>는 농촌진흥청에서 직파 시범단지를 대상으로 인근 중모 기계이앙 논과의 10a당 수량성을 비교한 자료이다.

<표 3-5> 중모 및 직파재배 수량 비교

(단위 : kg, %)

| 연 도 | 기계이앙<br>(A) | 건답직파        |       | 담수직파        |       | 비 고 |
|-----|-------------|-------------|-------|-------------|-------|-----|
|     |             | 단위수량<br>(B) | (B/A) | 단위수량<br>(C) | (C/A) |     |
| '93 | 450         | 434         | 96    | 462         | 103   |     |
| '94 | 469         | 460         | 98    | 475         | 101   |     |
| '95 | 466         | 462         | 99    | 461         | 99    |     |
| '96 | 494         | 496         | 100   | 479         | 97    |     |
| 평 균 | 470         | 463         | 98    | 469         | 100   |     |

※ 자료 : 농촌진흥청 식량작물과

이상의 자료에서 알 수 있는 바와 같이 직파재배의 수확량은 전체 단위수  
량 470kg에 비해 건답에서는 2% 정도 적게 수확되고 있으나 담수직파에서는 이양  
재배와 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 담수직파 수량이 건답직파 보다 많은 이유  
는 담수직파가 건답 보다 입묘율이 좋고 밀식재배되기 때문에 여겨진다.

또한 일반 직파 경작자를 대상으로 한 조사에서는 실제 수량이 증가한다고 하  
는 응답자도 많았다. 그렇지만 일부분의 응답자는 수량이 다소 떨어진다고 응답하여  
이는 직파 경작자 개인의 기술력 보유 및 지역간에 따른 기상 현상으로 보여진다.

〈그림 3-5〉은 건답직파재배를 실시한 논에서 수확기때의 전경을 나타낸 것으로  
약간의 도복은 있지만 벼의 생육상태가 양호하다.



〈그림 3-5〉 건답직파재배 논의 수확기 전경

이상의 자료에서 알 수 있는 바와 같이 직파재배의 수확량은 전체 단위수  
량 470kg에 비해 건답에서는 2% 정도 적게 수확되고 있으나 담수직파에서는 이양  
재배와 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 담수직파 수량이 건답직파 보다 많은 이유  
는 담수직파가 건답 보다 입묘율이 좋고 밀식재배되기 때문에 여겨진다.

또한 일반 직파 경작자를 대상으로 한 조사에서는 실제 수량이 증가한다고 하  
는 응답자도 많았다. 그렇지만 일부분의 응답자는 수량이 다소 떨어진다고 응답하여  
이는 직파 경작자 개인의 기술력 보유 및 지역간에 따른 기상 현상으로 보여진다.

〈그림 3-5〉은 건답직파재배를 실시한 논에서 수확기때의 전경을 나타낸 것으로  
약간의 도복은 있지만 벼의 생육상태가 양호하다.



〈그림 3-5〉 건답직파재배 논의 수확기 전경

## 3.2 생육기별 물관리 특성

### 3.2.1 초기 생육일수

일반적으로 벼의 생육일수는 지역별 기상조건, 토양종류, 품종, 재배조건 및 물관리 방법에 따라 다르게 나타난다. 다음 <표 3-6>은 호남농업시험장의 직파재배에 대한 생육일수 조사결과이다. 토양조건은 미사질양토이며 품종은 건답과 담수에 서 모두 동진벼를 재배하였다.

<표 3-6> 직파재배 생육기별 생육일수

| 생육기명  | 발 생 일 |      | 파종후 일수 |     | 비 고    |     |
|-------|-------|------|--------|-----|--------|-----|
|       | 건 답   | 담 수  | 건 답    | 담 수 | 건 답    | 담 수 |
| 파 종   | 5.1   | 5.11 | -      | -   |        |     |
| 출 아 기 | 5.19  | -    | 19     | -   | 5.29담수 |     |
| 유수형성기 | 7.26  | 7.28 | 87     | 78  |        |     |
| 수 잉 기 | 8.9   | 8.11 | 101    | 92  |        |     |
| 출 수 기 | 8.19  | 8.21 | 111    | 102 |        |     |

※ 자료 : 호남농업시험장

상기 자료를 통해 직파에 대한 일반적인 생육시기와 생육일수 등을 추정해 볼 수 있다. <표 3-6>에서 보는 바와 같이 건답직파에서는 파종후 19일 후에 출아가 되었으며 최초 담수시기는 파종후 29일, 출수는 파종후 111일에 나타났다. 한편 담수 직파인 경우는 건답 보다 파종이 10여일이 늦었지만 출수기는 8월 21일로 건답재배와 비슷한 시기에 출수되고 있음을 알 수 있다. 이는 건답에서 발아에 소요되는 시간이 상대적으로 담수에 비하여 많기 때문이며 수확기가 같을 경우 건답은 담수보다 파종기가 앞당겨져야 함을 나타낸다.

다음 <표 3-7>은 경북진흥원에서 수집된 파종후 일수에 따른 재배방식별 초장의 변화를 나타내고 있다.

<표 3-7> 재배방식별 파종후 일수에 따른 초장 비교

| 구 분 | 품종 | 파종일  | 위 치 | 파종후 일수 및 초장(cm) |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|----|------|-----|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|
|     |    |      |     | DAS             | 14   | 21   | 28   | 35   | 42   | 49   |      |
| 이 앙 | 화성 | 5.23 | 수원  | 초 장             | 22.4 | 26.7 | 32.6 | 40.4 | 50.5 | 61.1 |      |
|     | 화성 | 4.26 | 수원  | 초 장             | 24.6 | 30.2 | 36.6 | 44.1 | 54.3 | 65.2 |      |
| 건 답 | 오대 | 5.5  | 수원  | DAS             | 30   | 37   | 44   | 51   | 58   | 65   | 72   |
|     |    |      |     | 초 장             | 9.8  | 11.7 | 24.3 | 30.9 | 33.9 | 40.3 | 51.5 |
|     | 화성 | 5.5  | 수원  | 초 장             | 10.2 | 11.3 | 21.9 | 29.9 | 31.3 | 39.5 | 49.6 |
| 담 수 | 일품 | 5.2  | 상주  | DAS             | 21   | 28   | 44   |      |      |      |      |
|     |    |      |     | 초 장             | 12.5 | 13.0 | 28.7 |      |      |      |      |

※ 자료출처 : 작물시험장, 경북진흥원(DAS : 파종후 일수)

표에서 알수 있는 바와 같이 건답의 경우 파종후 30일 후에 초장이 10cm가 되나 담수직파에서는 파종후 20일 후에 초장이 10cm가 되어 3엽기에 달하게 됨을 알 수 있다.

금번 직파농가를 대상으로 한 조사에서는 직파재배에 따른 초기 생육일수와 생육기간을 알기 위해 파종일시 뿐만 아니라 최초 발아일, 본답기 및 최초 관개의 기준이 되는 3엽기 발아때까지의 파종후 일수에 대하여 조사하였으며 조사결과는 <표 3-8>와 같다.

<표 3-8> 직파재배 초기 생육기간 조사

| 구 분 | 건 답             |                 | 담 수    |                 | 비 고            |
|-----|-----------------|-----------------|--------|-----------------|----------------|
|     | 최초 발아일          | 3엽기 발아일         | 최초 발아일 | 3엽기 발아일         |                |
| 남 부 | 13~28일<br>(21일) | 24~50일<br>(36일) | -      | 11~27일<br>(20일) | ( ) : 평균<br>일수 |
| 중 부 | 15~21일<br>(18일) | 22~45일<br>(31일) | -      | 9~14일<br>(12일)  |                |
| 평 균 | 21일             | 35일             | -      | 16일             |                |

조사 결과 건답에 있어서는 파종후 21일 전후하여 출아 되었고 35일 전후하여 3엽기 정도가 되었으며 최초 관개는 이때 시작하였다. 담수직파에 있어서는 종자를 1~2mm 정도 발아시켜 파종하는 관계로 본답기로 분류할 수 있는 3엽기에 도달하는 시간이 평균 16일 정도로 나타났다.

이러한 직파재배 초기 생육일수는 직파재배의 초기 물관리자료에 매우 중요한 자료로서 필요수량 산정 모형에서 초기 관개시기, 본답 관개기로의 전환 등에 대한 중요한 자료로 이용 될 것이다.

### 3.2.2 파종시기

파종시기는 지역적 기상조건, 선택품종에 따라 달라진다. 대체로 물의 온도가 15℃ 이상이면 논에서 벼씨가 발아하여 자랄 수 있고 수온이 보통의 기온보다 4℃가 높으므로 그 지역의 평균 온도가 11℃이상이면 담수직파의 경우 파종이 가능하다. 건답인 경우는 파종후 기온조건이 아무리 좋더라도 토양수분이 부족하면 발아를 하지 않으므로 기온조건 및 토양수분조건을 동시에 고려하여 결정하여야 한다. 그러나 강우에 의해 토양수분이 지나치게 높을 경우 종자가 토양중에서 썩게되므로 가급적 유효파종기까지 앞당겨 파종하는 것이 좋다.

<표 3-9>은 농촌진흥청에서 권장하는 전국 파종시기를 중, 남부 권역별로 나누고 품종별 파종시기를 나타낸 것이다.

<표 3-9> 중, 남부별, 품종별 파종시기

| 구 분 | 건 답       |           |           |           | 담 수       |           |          |          |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
|     | 조생종       | 중생종       | 중만생종      | 전 체       | 조생종       | 중생종       | 중만생종     | 전 체      |
| 중 부 | 4.20~5.15 | 4.20~5.10 | 4.20~5. 5 | 4.20~5.15 | 5. 1~5.25 | 5. 1~5.20 | 5.1~5.15 | 5.1~5.25 |
| 남 부 | 4.20~5.25 | 4.20~5.20 | 4.20~5.15 | 4.20~5.25 | 5. 1~6. 5 | 5. 1~5.30 | 5.1~5.25 | 5.1~6. 5 |

상기 표에서 알 수 있는 바와 같이 건답의 경우는 4월 20일 부터 파종을 시작

하여 중부의 경우 5월 중순에, 남부의 경우는 5월 하순에 파종을 끝내는 것이 적합한 것으로 나타났다. 이는 담수보다 10일이 빠른 것으로서 건담에서는 본담기에 이르는 기간이 초기 생육일수 조사에서 보는 같이 10일이 더 필요함을 나타낸 것이다.

금번 직파농가를 대상으로 실제 파종시기도 조사하였으며 설문에 의해 파종 적합시기도 조사 하였다. 조사결과는 <표 3-10>과 같다.

<표 3-10> 직파재배 실제 파종시기 및 적합시기 조사

| 구 분 | 건 담         |             | 담 수         |             | 비 고 |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
|     | 실제 파종기      | 적합시기        | 실제 파종기      | 적합시기        |     |
| 중 부 | 4.20 ~ 5. 1 | 4.20 ~ 4.30 | 4.25 ~ 5.18 | 5. 1 ~ 5.20 |     |
| 남 부 | 4.14 ~ 4.28 | 4.20 ~ 5. 5 | 5. 4 ~ 5.20 | 5. 1 ~ 5.25 |     |

직파 경작자들은 농업진흥청의 직파기술지침을 대부분 충실히 따르고 있는 것을 볼 수 있으며 파종시작 시기는 지방별로 대체로 일치하나 파종시기는 가급적 앞당겨 실시하는 것으로 나타났는데 이는 적정 입묘율을 확보하는데 실패할 것을 대비하기 위한 조치로 해석된다.

상기 조사된 자료는 논 필요수량 산정 모형의 재배유형별 파종일시 및 파종 기간을 결정하는 기초자료로 활용될 것이다.

### 3.2.3 벼 일반 물관리

벼는 담수조건에서 재배하는 작물이라고 해서 항상 물속에서 생육하는 수생식물은 아니다. 논에서의 관개는 생육시기에 따라 때로는 깊게, 때로는 얇게 관개해야 하는가 하면 때에 따라서는 완전히 물을 떼는 등 알맞은 관개와 배수가 필요하다. 일반적으로 벼의 생육기간중 물이 가장 많이 필요한 시기는 수잉기 이고, 다음은 수잉기 전기와 모내기 직후의 착근기이며, 그 다음은 출수개화기이다. 이에

반하여 분얼기간은 극히 적은 물로 족하고 특히 무효분얼기에는 물이 거의 필요없다.

<표 3-11>는 일반 이앙재배에 대한 생육과정별 표준적인 물관리 요령을 보여 주고 있다.

<표 3-11> 벼 일반 생육기별 물관리 요령

| 생육시기    | 물대는 요령                   | 물깊이(cm) | 효 과                 |
|---------|--------------------------|---------|---------------------|
| 이 앙 기   | 얕 게 델 것                  | 2~3     | 모를 얕게 심게됨           |
| 활 착 기   | 깊 이 델 것                  | 5~7     | 증산억제, 활착촉진          |
| 분 얼 성 기 | 얕 게 델 것                  | 2~3     | 분얼촉진                |
| 무효 분얼기  | 중 간 물 때 기<br>( 5~10 일간 ) | 0       | 헛가지 억제, 유해물질 제거     |
| 생식 생장기  | 걸 러 대 기<br>(3일관수, 2일배수)  | 2~4     | 뿌리기능 촉진, 유해물질 제거 촉진 |
| 출 수 기   | 보통으로 델 것                 | 3~4     | 꽃가루 받이 촉진           |
| 등 숙 기   | 걸 러 대 기<br>(3일관수, 2일배수)  | 2~3     | 등숙양호, 뿌리기능 유지       |
| 낙 수 기   | 출수후 35일 전후               | 0       | 품질양호, 농작업 편리        |

※자료출처 : 영남농업시험장, 1996, 시험연구사업 설계서

이러한 물관리 기법은 직파재배에서도 동일하게 적용되며 다만 본답기 이전의 초기 물관리에서 차이점을 보이고 있다. 이앙재배에서의 일반적인 생육기별 물관리 기법은 다음과 같다.

### 가. 활착기의 물관리

이앙이 끝난 후, 곧바로 물을 넣지 않고 논흙이 노출된 상태로 두면 활착이 늦어진다. 관개 수심은 묘의 크기, 기상조건 등에 따라 조절할 필요가 있는데, 표준으로는 모넨다음 새뿌리가 나와 자라기까지의 2~3일은 보온의 효과를 높여

새뿌리가 잘 나오도록 하기 위해서 모키의 1/2 정도로 깊이 물을 댈다. 활착이 되면 논물을 2~3cm 정도로 낮추어 새끼치기를 촉진시킨다. 기온이 낮거나 바람이 심할때에는 다소 물을 깊게 대어 보온과 모의 흔들림을 막되, 모가 물에 잠기지 않도록 주의 한다.

#### 나. 분얼기의 물관리

분얼기 때는 수심을 3cm 전후로 얇게하여 분얼을 촉진시킨다. 분얼기에 심수관개를 하면 분얼이 억제되거나 늦어지며, 벼가 연약해져 도복 및 병충해에 대한 저항력이 약해진다. 이 시기는 물이 부족하여도 성장에는 지장이 없지만 물이 단수되면 포기 주위의 흩이 굳어져 분얼 발생이 억제되므로 수심을 얇게하여 2~3일에 한 번씩 관개하고, 분얼의 종기까지는 물이 단수되지 않도록 한다. 유효분얼기를 지나 무효분얼기에 이르면 벼 생육에 물을 별도 필요로 하지 않으므로 이 시기에는 생육조건을 개선하기 위하여 중간낙수를 실시한다. 이 시기는 출수전 40일부터 30일 사이에 실시하는 논바닥이 가늘게 갈라질 정도로 하는 것이 좋으나, 그 정도는 논의 배수성이나 토질에 따라 다르다.

#### 다. 수잉기 전후의 물관리

이 시기는 벼가 일생을 통하여 가장 많은 물을 필요로 하는 시기이며 부족시 유수(幼穗)의 발육 및 개화수정이 저하되어 감수를 초래한다. 벼는 유수분화기로부터 25일후 경에 출수하고 출수와 동시에 개화가 시작되지만, 한 필지 전체의 벼가 개화를 끝내기 위해서는 10~12일이 필요하므로 그동안은 다소 심수 관개 하도록 한다.

#### 라. 출수기 전후의 물관리

수정이 끝나면 벼알이 크기 위하여 앞에서 만들어진 동화전분과 식물체 중에 저장된 전분을 이삭으로 전류축적시키는 중요한 생리작용을 하는 모체적

역할을 하는것이 바로 생리수의 역할이다. 따라서 현미가 완성되는 벼판후 약 35일까지는 물을 대어야 하나, 이 기간은 기온이 점차 낮어져서 벼의 엽면증산량이 적고 논표면이 잎에 가려 논면증산량도 적어서 많은 양의 관개수가 필요치 않다. 특히 벼알이 여무는 시기에는 수분과 산소가 균형있게 공급되어야 한다.

#### 마. 낙수

논물을 완전히 때는 적기는 기상, 토성, 병해발생 등에 따라서 다르나, 건전한 벼를 충분히 등숙시키기 위한 물떼기는 대체로 출수 후 30 일경이다.

배수가 불량하기 때문에 부득이 낙수를 빨리 해야 하는 경우에는 표면배수가 잘 되도록 일정간격으로 배수구를 파서 1차 낙수를 하고 최종 낙수는 벼의 여름 정도를 진단하여 낙수 시기를 결정 하도록 하여야 한다.

### 3.2.4 건답직파 물관리

건답직파재배는 육묘 과정을 생략하고 본답에 직접 파종하여 재배하기 때문에 이앙재배에 비하여 본답에서의 재배기간이 20~30일 더 연장되므로 물관리 방법이 변하게되며 이에 따라 용수수요도 달라지게 된다. 또한 건답 상태에서 파종하므로 파종작업이 용이하도록 토양수분의 조절이 필요하며 파종후 출아하여 본엽이 3~4엽 정도 전개되면 담수하여 일반 이앙재배와 같이 관리하게 된다.

건답직파의 파종방법은 논을 경운 및 쇄토 또는 평탄 작업을 한후 논 전면에 산파하고 트랙터나 경운기로 2~3cm 복토하는 평면 파종방법과 파종시 강우가 많은 남부지역에서는 물빠짐을 좋게 하기 위하여 배수 고랑을 설치하는 휴립파종법 등으로 나눌 수 있다. 건답직파에서는 보통 파종후 30일 정도 경과하면 2~3엽기가 되며 이때부터 논에 전면 담수를 시작하므로 파종기에서의 물관리는 용수 공급 측면보다 배수의 측면을 고려해야 한다.

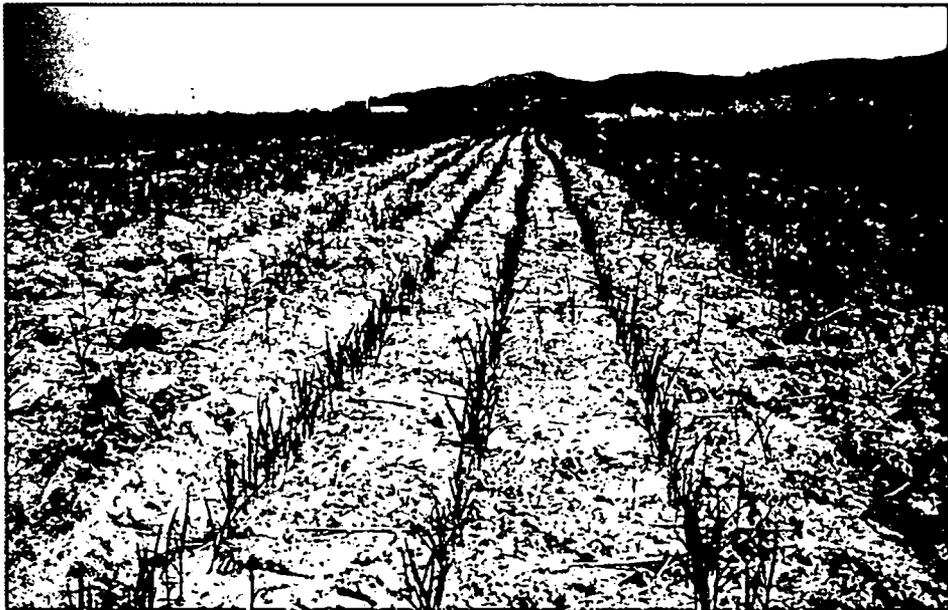
건답상태에서 자란 벼가 3엽기가 되면 배유의 저장양분이 소멸되고 이유기로

접어드는 시기이므로 정상적인 생육을 위하여 물이 필요하다. 건답에서 담수로의 이 상적인 전환은 일주일 정도 경과시키면 뿌리가 담수상태에서 적응하도록 한 후 상 면위로 담수시켜 뿌리와 지상부의 생육장애를 최소화 시키도록 해야 한다. 그러나 건답 직파재배는 본답기간이 길고 3엽기에 관개할 때 토성에 따라 다르지만 일반적 으로 토양공극이 그대로 유지되어 하층으로의 침투량이 많기 때문에 관개용수가 다 량으로 소요된다. <그림 3-6>은 건답직파를 실시한 논에서의 초기 담수전 3~4엽기 때의 벼 생육상태를 나타내고 있다.



<그림 3-6> 건답직파 초기담수전 벼 생육상태(3~4엽기)

접어드는 시기이므로 정상적인 생육을 위하여 물이 필요하다. 건답에서 담수로의 이상적인 전환은 일주일 정도 경과시키면 뿌리가 담수상태에서 적응하도록 한 후 상면위로 담수시켜 뿌리와 지상부의 생육장애를 최소화 시키도록 해야 한다. 그러나 건답 직파재배는 본답기간이 길고 3엽기에 관개할 때 토성에 따라 다르지만 일반적으로 토양공극이 그대로 유지되어 하층으로의 침투량이 많기 때문에 관개용수가 다량으로 소요된다. <그림 3-6>은 건답직파를 실시한 논에서의 초기 담수전 3~4엽기 때의 벼 생육상태를 나타내고 있다.



<그림 3-6> 건답직파 초기담수전 벼 생육상태(3~4엽기)

농업과학기술원의 시험자료에 의하면 담수깊이를 5cm로 하였을 경우 재배유형에 따른 투수속도의 변화는 <표 3-12> 과 같다.

<표 3-12> 직파재배 유형에 따른 투수속도의 변화

(단위 : mm/day)

| 구분   | 이앙재배 | 담수직파 | 건담직파 | 비고                 |
|------|------|------|------|--------------------|
| 투수속도 | 6.7  | 8.8  | 12.5 | 건담직파 담수후 30~70일 평균 |

※자료 : 농업과학기술원, 1994, 벼 직파재배 환경연구(오동식 외)

표에서 보는 바와 같이 건담직파에서는 담수후 상당기간 경과후에도 논의 투수성에 영향을 미침을 알 수 있다. 침투량은 토성, 토양구조, 공극의 크기 및 지하수위의 고저 등에 의하여 달라진다. 물관리 특성조사시 직파 경작자로 부터 조사된 자료에서도 100~150mm의 감수심을 보이는 경우도 있었다.

3cm의 담수심 유지후 수분함량에 따른 논 토양별 수분지속일수 및 토양의 수분상태에 따라 3cm 담수를 하기 위한 용수공급 요구기준에 대하여 농촌진흥청의 시험자료를 인용하면 <표 3-13> 및 <표 3-14>와 같다.

<표 3-13> 논 토양별 수분지속 일수

| 토양별 \ 수분함량 | 담수 (3cm) | 100% (포화) | 75% (실금) | 50% (균열) | 25% (위조) | 비고         |
|------------|----------|-----------|----------|----------|----------|------------|
| 경질         | 0        | 2         | 4        | 9        | 18       | 일수: 담수후 일수 |
| 양질         | 0        | 4         | 9        | 16       | 27       |            |
| 식질         | 0        | 5         | 11       | 18       | 30       |            |

※자료 : 농업과학기술원, 1881

<표 3-14> 토양 수분함량별 3cm 담수 용수량

(단위 : mm)

| 수분함량<br>토양별 | 25%<br>(위조) | 50%<br>(균열) | 75%<br>(실금) | 100%<br>(포화) | 비 고 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-----|
| 경 질         | 114         | -           | 50          | 30           |     |
| 양 질         | 127         | -           | 62          | 30           |     |
| 식 질         | 133         | -           | 64          | 30           |     |

※자료 : 농업과학기술원, 1881

<표 3-13> 및 <표 3-14>에서 알 수 있는 바와 같이 수분함량 75%를 유지하고 있는 건답 상태의 논에 담수심 3cm를 유지하기 위해서는 토양에 따라 다르지만 50~65mm의 용수가 필요하게 되며 반대로 3cm의 담수심에서 수분함량 75%의 건답이 되기까지는 4~11일이 소요됨을 알 수 있어 건답 초기용수공급은 이보다 많은 용수를 추가로 공급해야 함을 나타내고 있다.

일반적으로 관개계획 수립에 적용되는 논외 건습관계에 따른 침투량은 <표 3-15>과 같다. 습답의 경우에는 일 침투량이 5~10mm/day 이지만 건답에서는 15~30mm/day, 누수가 심한 논에서는 30~100mm/day의 침투량이 발생하므로 이러한 자료에 근거하여 건답에서의 초기 관리용수량을 산정할 수 있을 것이다.

<표 3-15> 논외 건습관계와 침투량

| 건 습 관 계   | 습 답  | 반 습 답 | 건 답   | 누 수 답  | 비 고 |
|-----------|------|-------|-------|--------|-----|
| 침투량(mm/일) | 5~10 | 10~20 | 15~30 | 30~100 |     |

※ 자료 : 농지개량사업계획설계기준, 1983, 관개편

다음 <표 3-16>는 개략적이지만 실 경작자로 부터 파종후 최초 관개일 및 초기 관개수심, 초기 관개시 일감수심을 조사하여 정리한 것이다. 일 감수심은 한번 관개후 몇시간 또는 몇일만에 논 바닥이 들어나는지를 청문조사하여 일감수심으로 환산한 값이다.

<표 3-16> 전답직파 초기담수시 일 감수심

| 최초 관개일<br>(파종후 일수) | 구 분     | 남 부            | 중 부            | 비 고      |
|--------------------|---------|----------------|----------------|----------|
| 30 ~ 45<br>(35 일)  | 초 기 담수심 | 40~150<br>(60) | 50~150<br>(75) | ( ) : 평균 |
|                    | 일평균 감수심 | 60             | 48             |          |

일 감수심은 평균 48~60mm로 나타나 <표 3-14>의 결과와 거의 비슷함을 알 수 있다. 이와같은 점을 고려할 때 용수공급 측면에서는 담수초기의 용수공급량의 적정관리가 매우 중요하다. 초기 담수시기가 전 관개면적에서 집중될 경우 수원공에서 공급해 주어야 할 수량은 많아지게 되며 용수로의 단기공급능력도 증대되어야 한다. 그러므로 초기담수시 감수심이 많은 사질토 지역에서는 사실상 전답직파 재배가 불가능한 것으로 판단된다.

### 3.2.5 담수직파 물관리

담수직파는 일반적으로 담수표면직파와 담수토중직파, 무논플뿌림재배로 나눌 수 있다. 그러나 이는 파종방법의 차이에 따른 것으로서 파종하기 전 포장의 처리 방법에 따른 구분일 뿐이며 근본적으로 물관리 방법에서 차이가 나는 것은 아니다.

담수표면직파는 씨레질 후 곧바로 손 또는 산립기를 이용하여 파종을 하기도 하고 서산간척지의 경우처럼 항공기를 이용하여 표면산파를 하기도 한다. 즉 담수 표면직파는 파종방법이 간편하고 영농규모의 확대에 유리할 뿐만 아니라 잡초방제가 용이하나 논 표면에 파종하기 때문에 뿌리의 발달이 표면에 많고 뿌리가 지상부를 지지하는 힘이 약하여 도복되기 쉬운 단점이 있기 때문에 이러한 점을 고려한 물관리가 되도록 해야 한다.

반면 무논골뿌림재배는 기계이앙을 할 수 있는 정도로 정지를 한 후 완전배수를 하여 담표면의 습윤상태가 원추관이 6~7cm 들어갈 정도이거나 두부 또는 컷볼 정도로 굳었을 때 전용파종기를 이용하여 3~4cm 깊이로 골을 타면서 파종하는 방법이다. 그러므로 복토가 되지 않는 상태로 파종하기 때문에 출아율이 높고 벼가 자라는 동안 주위의 흙에 묻힘으로 배토의 효과가 있어 도복을 경감시키는 등의 효과가 있다. 따라서 무논골뿌림재배에서는 다른 담수직파재배 파종법과는 달리 씨레질 후의 논균히기에 따른 별도의 물관리가 필요하다.

우리나라의 담수직파 재배방식은 무논골뿌림재배 방식이 전체의 80% 정도를 차지하고 있으며 나머지는 손산파에 의한 담수표면 직파방식이므로 담수직파의 필요수량 산정을 위해서는 무논골뿌림재배 방식을 기준으로 하는 것이 타당할 것으로 생각된다.

무논골뿌림재배에서 일반적인 초기 물관리는 본답 정지기, 정지후 논균히기, 파종기, 보온 및 입묘율 향상을 위한 심수관개기, 논그누기, 발아촉진을 위한 심수관개기로 나누어 구분할 수 있다.

본답의 경우, 정지 및 씨레질을 위해서는 많은 관개용수가 필요하며 이때의 필요수량은 토성, 지하수위 및 토양수분 함량에 따라 달라지게 되나 최고 164mm, 에서 최소 36mm 정도로 알려져 있다. 이때의 용수량은 이앙재배의 이앙을 위한 본답 정지용수와 크게 다르지 않으며 씨레질에 필요한 담수심을 유지하기 위한 담수량 및 작토층과 심토층의 치환용기량 및 강하 또는 논두렁 침투량을 더한 수량을 의미한다.

무논골뿌림재배에서는 전용파종기를 이용하여 본답에 파종하기 위해 파종전 논균히기를 실시한다. 논균히기의 정도는 원추관입심도가 6~7cm 정도이거나 논이 굳은 정도가 두부모 정도가 될 때까지 하게 되며 논 균히기는 전용파종기를 이용하여 효과적으로 파종하기 위한 수단이나 이와같은 과정에서 배수와 담수를 반복하게되므로 관개수량은 증대하게 된다.

무논골뿌림재배에서는 일반적으로 파종직후나 파종 후 1~2일 이내에 관개를 시작하는 것이 일반적이다. 이와같은 물관리는 지역 또는 재배시기에 따라 다소 다르지만 일반적으로 파종 후 2~3주 동안은 심수관개를 하는 것이 바람직하여 심수관개를 할 경우 피등의 잡초발생을 억제하고 새의 피해도 줄여 입묘율의 향상을 꾀할 수 있다.

그러나 심수관개를 장기간 하게 되면 입묘율이 떨어지므로 따뜻한 날을 골라 반드시 눈그누기를 해야 한다. 눈그누기는 2~3일간의 초기 심수관개를 한 후 출아 및 뿌리의 활착을 돕기 위하여 실시하는 것으로 논바닥에 실금이 갈 정도로 강낙수를 실시한다. <표 3-17>는 담수직파 경작자로 부터 파종후 최초 눈그누기일 및 일수를 조사하여 정리한 것이며 눈그누기 일수는 평균 4일 정도인 것으로 나타났다.

<표 3-17> 담수직파 눈그누기 일수

| 구 분 | 파종후 일수   | 눈그누기 일수  | 비 고        |
|-----|----------|----------|------------|
| 남 부 | 2~5일(3일) | 3~5일(4일) | ( ) : 평균일수 |
| 중 부 | 3~7일(4일) | 3~5일(4일) |            |
| 평 균 | 4일       | 4일       |            |

담수직파 눈그누기에 따라 실제 포장에서는 용수재이용 시설이 없는 경우 배수를 하고 다시 재담수를 해야 하기 때문에 별도의 재배관리용수량이 필요하게 된다. <그림 3-7>은 담수와 논에서의 눈그누기를 실시하고 있는 장면을 나타내고 있다.

눈그누기를 실시한 후 제초방제를 실시하고 약효를 유지시키기 위하여 심수관개를 한다. 담수직파에서 3엽기가 되기 전까지 필요수량은 작물의 증산량 보다도 답에서의 삼투량 및 심수관개를 유지하기 위한 관리용수량이 보다 큰 비중을 차지한다. 심수관개를 유지함으로써 잡초의 발생을 줄이고 쥐와 새의 피해를 줄일 수 있으며 안정적인 입묘율을 도모할 수 있다.



〈그림 3-7〉 담수직파재배 눈그누기 장면(영남농업시험장)

파종후 30~35일 후면 본엽이 3~4엽기에 이르게 된다. 이 때에는 이앙재배와 동일한 물관리 방식이 요구되며 다만 직파재배의 취약점인 도복 및 병충해를 방지 하기 위해서는 보다 정밀한 물관리가 필요하며 가급적 담수상태를 오래 유지하지 말고 중간낙수를 실시하는 것이 바람직하다.



〈그림 3-7〉 담수직파재배 눈그누기 장면(영남농업시험장)

파종후 30~35일 후면 본엽이 3~4엽기에 이르게 된다. 이 때에는 이앙재배와 동일한 물관리 방식이 요구되며 다만 직파재배의 취약점인 도복 및 병충해를 방지 하기 위해서는 보다 정밀한 물관리가 필요하며 가급적 담수상태를 오래 유지하지 말고 중간낙수를 실시하는 것이 바람직하다.

### 3.3 수원공별 직파현황

#### 3.3.1 조사방법

직파재배에 따른 기존 수리시설물의 영향을 검토하기 위하여는 수원공별 직파재배 면적을 파악해야 한다. 관개구역의 주수원공 및 수원공별 직파재배 현황을 파악하고 이들의 용수공급체계를 분석함으로써 향후 설계될 수리시설물의 직파재배를 고려한 설계기준을 마련할 수 있기 때문이다. 수원공별 직파면적을 파악하기 위하여 금년도에 전국 6개 농지개량조합(이하 농조)을 대상으로 조사를 실시하였다. 각 농조의 수원공별 직파 재배면적 현황은 직파재배를 고려한 설계기준을 정립하는데 현실적으로 가장 필요한 자료이며 중요한 설계요건이기에 아래와 같은 방법에 의해 조사를 실시하였다.

- 1) 농조 수원공별 관개면적 자료수집 및 관개구역도 작성
- 2) 관개구역내 시·군·읍·면별 직파재배 면적자료 수집
- 3) 농조 관개구역별 직파재배 면적 산출
- 4) 농조 관할 주수원공별 직파재배 면적 산출
- 5) 주수원공별 직파재배면적 현지조사
- 6) 수원공별 직파재배면적 확정

#### 3.3.2 표본구역의 선정

표본구역은 '96년조사 결과에서 나타난 직파 재배면적이 많은 시·군을 포함하고 있는 6개 농조를 선택하였다. 표본구역이 전체 모집단을 대표할 수 있도록 중부와 남부 및 서부 평야지와 동부 산간지에 고루 분포하도록 하였으며 또한 관개구역의 대소에 따른 차이가 있는지를 파악하기 위해 관개면적에 따라 대·중·소로 구분하여 선정되도록 하였다. 관개구역이 10천ha 이상은 대규모로 10천ha~5천ha는 중규모로 5천ha이하는 소규모로 구분 적용하였다.

각 조사구역에 대하여 직파재배 면적과 주수원공별 직파재배 면적을 조사하였으며 조사구역별로 10인의 경작자를 임의로 선정하여 직파재배 면적, 물관리 방법, 수원공별 이용현황 등에 대해서도 조사하였다. 표본구역의 선정내역은 <표 3-18>에서 보는 바와 같다.

<표 3-18> 표본구역의 선정 내역

| 구 분 | 지 역   | 농 조 명 | 관할행정구역     | 관개면적<br>(ha) | 비 고     |
|-----|-------|-------|------------|--------------|---------|
| 중 부 | 강 원 도 | 원주 농조 | 원주, 여주     | 1,695.0      | 동부, 소규모 |
|     | 충청남도  | 예당 농조 | 예산, 당진, 홍성 | 14,872.0     | 서부, 대규모 |
| 남 부 | 경상북도  | 상주 농조 | 상주, 문경     | 5,896.0      | 동부, 중규모 |
|     | 전라북도  | 전북 농조 | 군산, 익산, 완주 | 23,420.0     | 서부, 대규모 |
|     | 전라남도  | 화순 농조 | 나주, 화순, 담양 | 3,273.0      | 서부, 소규모 |
|     | 경상남도  | 밀양 농조 | 밀양         | 7,051.0      | 동부, 중규모 |
| 소 계 |       | 6개소   | 14개소       | 56,207.0     |         |

### 3.3.3 표본구역 직파재배 현황

표본구역 6개 농조의 직파재배 면적은 11,757ha로 전체 조사면적의 20.9%로 나타났으며 담수직파가 2,446ha로 4.4%, 건담직파가 9,311ha로 16.5%였으며, 전체 직파면적에 대한 담수직파 비율은 20.8%, 건담직파 비율은 79.2%로 조사되었으며 금회 조사면적에 대한 재배방식별, 지역별 직파재배 현황은 <표 3-19>과 같다.

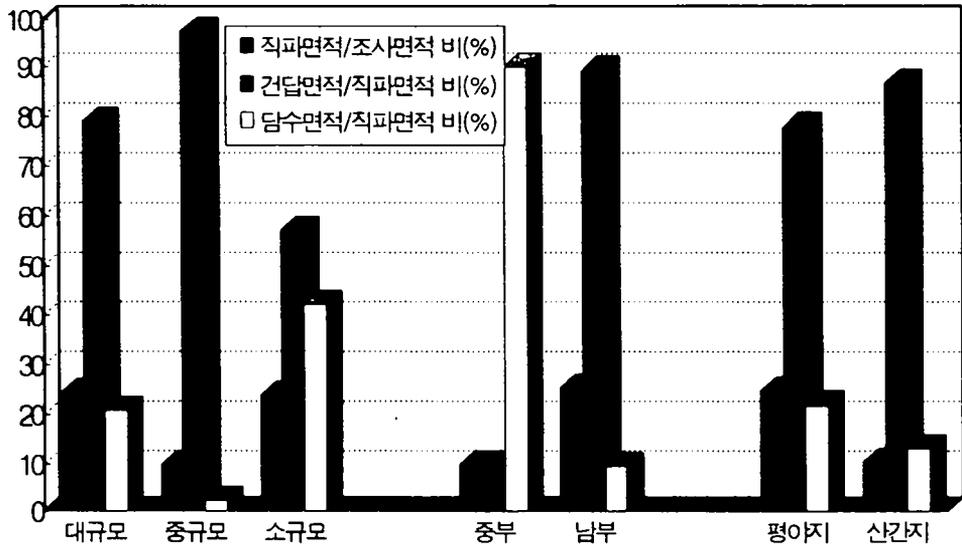
<표 3-19> 표본구역의 직파재배 현황

(단위 : ha, %)

| 구 분            | 조사면적<br>(A) | 전체 직파면적   |             | 담수직파      |             |             | 건답직파      |             |             |      |
|----------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|------|
|                |             | 면적<br>(B) | 비율<br>(B/A) | 면적<br>(C) | 비율<br>(C/A) | 비율<br>(C/B) | 면적<br>(D) | 비율<br>(D/A) | 비율<br>(D/B) |      |
| 전 체            | 56,207      | 11,757    | 20.9        | 2,446     | 4.4         | 20.8        | 9,311     | 16.5        | 79.2        |      |
| 관개<br>면적<br>별  | 대규모         | 38,292    | 9,289       | 24.3      | 1,913       | 5.0         | 20.6      | 7,376       | 19.3        | 79.4 |
|                | 중규모         | 12,947    | 1,286       | 9.9       | 32          | 0.2         | 2.5       | 1,254       | 9.7         | 97.5 |
|                | 소규모         | 4,968     | 1,182       | 23.8      | 501         | 10.1        | 42.3      | 681         | 13.7        | 57.2 |
| 중남<br>부별       | 중 부         | 16,567    | 1,647       | 9.9       | 1,485       | 9.0         | 90.2      | 162         | 1.0         | 9.8  |
|                | 남 부         | 39,640    | 10,110      | 25.5      | 961         | 2.4         | 9.5       | 9,149       | 23.1        | 90.5 |
| 평야<br>산간<br>지별 | 평야지         | 41,565    | 10,268      | 24.7      | 2,249       | 5.4         | 21.9      | 8,019       | 19.3        | 78.1 |
|                | 산간지         | 14,642    | 1,489       | 10.1      | 197         | 1.3         | 13.2      | 1,292       | 8.8         | 86.8 |

이를 관개구역의 대소에 따라 구분하면 대규모 관개구역에서 직파시행비율이 24.3%로 가장 높게 나타났으며, 직파시행 면적에서 건답과 담수 면적이 차지하는 비율은 대규모 관개지역에서는 건답비율이 79.4%, 소규모 지역에서는 57.2%로 나타나 대규모 지역에서는 건답이 소규모지역에서는 담수직파가 많이 시행되고 있음을 알 수 있다.

한편 이를 중·남부별로 구분하면 직파시행비율은 중부에서는 9.9%, 남부에서는 25.5%로 나타나 남부에서 직파가 많이 시행되고 있음을 알 수 있으며, 중부에서는 담수비율이 90.2%, 남부에서는 건답비율이 90.5%로 절대 우위를 보이고 있었다. 또한 평야지에서는 직파시행 비율이 24.7%, 산간지에서는 10.1%로 나타나 산간지인 동부지역보다 서부 평야지에서 직파가 많이 시행되고 있음을 알 수 있다. <그림 3-8>는 구분 지역별 직파시행 비율 및 건답, 담수비율을 나타내고 있다.



<그림 3-8> 표본구역 직파재배시행 면적 비율

### 3.3.4 수원공별 직파현황

표본구역에서의 직파재배 면적을 수원공별로 살펴보면 수원공이 저수지인 지역에서는 조사면적의 22.5%, 양수장인 경우는 10.6%, 보인 경우는 4.2%가 직파를 시행하고 있었다. 수원공별로 담수직파와 건담직파의 비율을 살펴보면 저수지에서 건담비율이 78.4%로, 양수장 지역에서는 93.3%로 나타났으며 보 지역에서는 건담직파 비율이 57.9%로 나타나 보를 수원공으로 하는 지역에서는 다른 지역보다 상대적으로 담수직파가 많이 시행되고 있음을 알 수 있었다. 표본구역에 대한 수원공별 직파재배 시행면적 및 건담, 담수 비율은 <표 3-20>과 같다.

<표 3-20> 표본구역 수원공별 직파현황

(단위 : ha, %)

| 구 분 | 조사면적<br>(A) | 전체 직파면적   |             | 담수직파      |             |             | 건답직파      |             |             |
|-----|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
|     |             | 면적<br>(B) | 비율<br>(B/A) | 면적<br>(C) | 비율<br>(C/A) | 비율<br>(C/B) | 면적<br>(D) | 비율<br>(D/A) | 비율<br>(D/B) |
| 전 체 | 56,207      | 11,757    | 20.9        | 2,446     | 4.4         | 20.8        | 9,311     | 16.6        | 79.2        |
| 저수지 | 49,184      | 11,073    | 22.5        | 2,387     | 4.9         | 21.6        | 8,686     | 17.7        | 78.4        |
| 양수장 | 6,109       | 646       | 10.6        | 43        | 0.7         | 6.7         | 603       | 9.9         | 93.3        |
| 보   | 914         | 38        | 4.2         | 16        | 1.8         | 42.1        | 22        | 2.4         | 57.9        |

한편 표본지구의 직파재배면적에 대한 수원공별 직파현황 및 비율을 나타내면 <표 3-21>과 같다.

<표 3-21> 표본구역 수원공별 직파시행 비율

(단위 : ha, %)

| 구 분    | 직파면적   | 저수지    |        | 양수장  |     | 보    |     | 비 고 |  |
|--------|--------|--------|--------|------|-----|------|-----|-----|--|
|        |        | 면적     | 비율     | 면적   | 비율  | 면적   | 비율  |     |  |
| 전 체    | 11,757 | 11,073 | 94.2   | 646  | 5.5 | 38   | 0.3 |     |  |
| 재배방식   | 담수     | 2,446  | 2,387  | 97.6 | 43  | 1.8  | 16  | 0.6 |  |
|        | 건답     | 9,311  | 8,686  | 93.3 | 603 | 6.5  | 22  | 0.2 |  |
| 관개면적별  | 대규모    | 9,289  | 9,254  | 99.6 | 26  | 0.3  | 9   | 0.1 |  |
|        | 중규모    | 1,286  | 672    | 52.2 | 589 | 45.8 | 25  | 2.0 |  |
|        | 소규모    | 1,182  | 1,147  | 97.1 | 31  | 2.5  | 4   | 0.4 |  |
| 중남부별   | 중부     | 1,647  | 1,578  | 95.8 | 56  | 3.4  | 13  | 0.8 |  |
|        | 남부     | 10,110 | 9,495  | 93.9 | 590 | 5.8  | 25  | 0.3 |  |
| 평야산간지별 | 평야지    | 10,268 | 10,233 | 99.7 | 26  | 0.2  | 9   | 0.1 |  |
|        | 산간지    | 1,489  | 840    | 56.4 | 620 | 41.6 | 29  | 2.0 |  |

조사대상 전체 직파시행 면적에 대하여 수원공별 직파면적은 저수지가 94.2%로 가장 높게 나타났으며 다음으로 양수장이 5.5%, 보가 0.3%로 나타나 직파재배는 저수지를 수원공하는 지역에서 많이 시행되고 있음을 알 수 있다. 이는 용수공급 체계가 원활한 저수지에서 직파재배 경작자들이 타 수원공에서 보다 초기용수의 공급사정이 유리하여 불필요한 걱정이 필요없는 이유인 것으로 판단된다..

한편 담수 보다 건답에서 양수장 의존 비율이 높게 나타났으며 저수지에서의 의존 비율은 담수가 건답보다 조금 높은 것으로 나타났다. 대규모 관개구역에서는 저수지를 수원공으로 하는 경우가 대부분이었으며 중규모 구역에서는 양수장을 수원공으로 하는 경우가 45.8%로 높게 나타났다.

또한 중부 및 남부별로 구분하였을 경우에는 중.남부별로 별 차이가 없었으나 서부 평야지와 동부 산간지를 비교하였을 경우에는 평야지에서는 저수지 의존 비율이 99.7%로 단연 높게 나타났으나 산간지에서는 저수지를 수원공으로 하는 경우가 56.4%, 양수장을 수원공으로 하는 경우가 41.6%으로 나타났다.

### 3.3.5 경작자 조사

3.3.3 및 3.3.4의 조사결과는 3.3.1의 조사방법에서 알수 있는 바와 같이 전체조사 면적에 대한 직접조사 방식이 아니므로 전체적인 경향만을 파악할 수 있을 뿐이며 실제 직파재배 농가를 대상으로 조사를 실시하여 직파재배 농가의 수원공별 이용현황을 파악하도록 하였다. 직접 면담조사 방식에 의해 6개 농조구역에서 각 10인을 임의 선정하여 조사한 결과 저수지를 주수원공으로 용수공급을 받고 있는 경작자는 60명의 경작자 중 56.7%인 34명으로 나타났으며 양수장이 16명으로 26.7%, 개인관정 및 보가 10명으로 16.7%를 차지하고 있었다. 이를 정리하면 <표 3-22>과 같다.

<표 3-22> 직파 경작자의 수원공 이용현황

(단위 : 인, %)

| 구 분 | 조사<br>인원 | 저수지 |      | 양수장 |      | 보  |      | 관 정 |     | 비 고 |
|-----|----------|-----|------|-----|------|----|------|-----|-----|-----|
|     |          | 인원  | 비율   | 인원  | 비율   | 인원 | 비율   | 인원  | 비율  |     |
| 전 체 | 60       | 34  | 56.7 | 16  | 26.7 | 6  | 10.0 | 4   | 6.7 |     |
| 담 수 | 19       | 12  | 63.2 | 4   | 21.2 | 2  | 10.5 | 1   | 5.3 |     |
| 건 답 | 41       | 22  | 53.7 | 12  | 29.3 | 4  | 9.8  | 3   | 7.3 |     |

이를 재배방식별로 살펴보면 건답직파에서 53.7%인 22명이 저수지를 수원공으로 용수공급을 받고 있었고, 양수장이 29.3%, 보가 9.8%, 개인관정이 7.3%로 나타났다. 한편 담수직파의 경우는 63.2%가 저수지를 수원공으로 하고 있었으며, 21.2%는 양수장을, 나머지는 양수장이나 개인관정에서 용수를 취수하고 있었다.

경자자를 대상으로 하는 조사결과가 표본구역에 대한 전체 조사결과에 비하여 저수지 비율이 낮은 것은 표본구역 조사에서는 대규모 관개구역의 경우 양수장과 저수지의 관개구역이 사실상 분리가 어려워 주수원공을 기준으로 조사한 결과로 볼 수 있으며 각 경작자는 농조의 관개구역 이더라도 용수가 부족할 경우 보와 개인관정을 필요시 적절히 이용하고 있기 때문으로 풀이할 수 있다.

### 3.4 직파적지 조사

#### 3.4.1 직파적지 구분

직파재배를 경작하기 위해서는 일정한 조건이 필요하다. 일반적으로 직파재배는 관개·배수시설, 토양조건, 기상요인 및 지역조건 등에서 양호한 여건을 구비하여야 시행가능하다. 기상요인으로서 직파재배시 출아에 필요한 최저 평균 온도가 14℃ 이상이어야 하며 관개·배수시설이 완비된 수리안전답이어야 한다. 또한 해발표고가 높은 지역에서는 본답에서 파종하였을 경우 발아가 어렵기 때문에 실제 직파 시행이 불가능 하다.

직파재배를 위한 조건중에서 가장 중요한 것은 토양조건이다. 건답직파의 경우 마른 논상태로 경운·정지를 하여 파종하기 때문에 습답, 식질답에서는 배수가 불량하여 재배가 어렵고 간척지와 같은 논은 점질토로 배수가 잘되지 않아 직파재배가 불가능 하다.

농촌진흥청 농업과학기술원(이하 농과원)에서는 전국의 논을 대상으로 토성 및 배수조건별에 따라 직파적지를 산출하였다. 농과원 자료를 인용하여 직파재배에 적합한 토성 및 배수조건에 따른 직파적지를 구분하면 <표 3-23>과 같다.

<표 3-23> 직파재배 적지 선정 모식도

| 구 분   | 배 수 조 건 |      |    | 비 고   |
|-------|---------|------|----|---|
|       | 약간양호    | 약간불량 | 불량 |   |
| 식질토   | ◎       | ○    | ○  | ◎ : 건답, 답수적지<br>○ : 답수적지<br>□ : 건답적지<br>× : 부적지 |
| 미사식질토 | ◎       | ○    | ○  |   |
| 식양토   | ◎       | ◎    | ×  |   |
| 미사사양토 | ◎       | ◎    | ×  |   |
| 사양토   | ◎       | □    | ×  |   |
| 사 토   | ×       | ×    | ×  |   |

※ 자료 : 영남농업시험장, 1992

<표 3-23>에서 보는 바와 같이 건담직파 및 담수직파재배 모두 가능한 지역은 사질을 제외한 배수 약간양호 하거나 약간불량한 토양이 해당되며 배수가 불량한 토양에서는 식질 및 미사식질토에서 담수직파재배만 가능함을 알 수 있다. 건담 직파재배만을 할 수 있는 지역은 배수가 약간불량한 사양토이다.

농과원에서는 재배양식별로 토양통별 직파적지를 <표 3-24> 및 <표 3-25>과 같이 구분하였다. 건담직파 및 담수직파재배의 적지를 토양의 토성, 배수특성, 토양 통명으로 분류하면 건담은 120개통명, 담수는 144개통명이며 건담 및 담수 모두 적용 가능한 토양통명은 69개이다. 농과원의 토양통별 분류기준에 따라 전국 직파 재배 가능지를 조사한 결과 총 직파재배 가능지는 687,566ha로 전체 논 면적의 55.4%이며 건담 직파가 가능한 면적은 639,807ha로 51.6%로 나타났으며 담수 직파 면적은 담수직파가 가능하면 건담직파도 가능하므로 총 직파재배 가능지와 같은 55.4%로 볼 수 있다.

직파재배는 논외 해발표고 및 경사도에 따라서도 제한을 받게된다. 한계표고는 중북부의 경우 EL.100m 이하이며 남부의 경우에는 EL.200m이하로 구분되고 경사도는 7%이내의 평탄지 및 매우 약한 경사지의 수리안전 지역에서 직파가 가능하다. 한계표고 내에서도 찬물이 나는 논, 그늘이 많이 지는 곡간지, 2모작 및 염농도 0.25% 이상의 염해 논은 직파재배를 지양해야 한다.

특히 간척지 중 염농도가 높은 미사질식양토는 염해와 토양환원균에 의한 산소 부족으로 발아가 불량하여 무논골뿌림에 의한 직파재배가 어렵다. 이 경우 직파재배를 시행할 경우 담수표면직파를 시행해야 한다.

<표 3-24> 건담 직파재배 가능지 토양통

| 구 분           | 토 성   | 토양배수  | 토 양 통 명   |
|---------------|-------|---|---|
| 최적지<br>(5개통)  | 사 양 질 | 약간불량  | 가천, 감천, 석계, 석천, 학포  |
| 적 지<br>(68개통) | 사 양 질 | 약간양호  | 고천, 동암B, 마곡B, 마령, 마령B, 매곡B, 복내B, 산계B, 압곡B, 용곡B, 월곡, 월곡B, 은곡B, 장계B                             |
|               |       | 약간불량  | 감천B, 사촌B, 수북B, 점곡B, 회곡B   |
|               | 불 량   | 회수*   |   |
|               | 미사식양질 | 약간양호  | 오평  |
|               | 약간불량  | 광포, 남포, 만경, 물금  |   |
| 식 양 질         | 약간양호  | 구곡B, 금곡B, 대원B, 덕곡B, 비곡B, 삼암B, 안계B, 안미, 안미B, 오천, 옥계B, 용지B, 울곡B, 장유B, 진목B, 천평B, 칠곡B, 철원, 통천, 판곡B, 학산, 학산B, 함평, 함평B, 행곡, 행곡B |   |
|               | 약간불량  | 도곡B, 만성, 송주, 신흥, 아곡B, 양곡, 양곡B, 영산, 울포, 임곡B, 지산, 지산B, 진도B, 평해, 효천, 지산-용지B  |   |
|               | 불 량   | 다평*, 백구*  |   |
| 가능지<br>(47개통) | 식 양 질 | 불 량   | 다평*, 백구*  |
|               |       | 약간양호  | 강진B, 경산B, 규암, 방곡B, 심천, 용강B, 죽곡B, 청계B, 청원  |
|               | 미사식양질 | 약간불량  | 가곡, 가곡B, 금서B, 달동, 덕하, 등구, 문경B, 미원, 미원B, 봉곡, 봉곡B, 예곡B, 월평B, 유가, 유가B, 유곡B, 전북, 춘포, 평택, 향호, 종곡B, |
|               |       | 불 량   | 북천*   |
| 식 질           | 약간양호  | 극락, 극락B, 대정B, 덕평, 덕평B, 동송, 방기B, 용수B, 초계B, 파주, 파주B, 화동, 화동B, 화동-호남B  |   |

\* 표시는 배수가 50cm이하 부터 불량한 토양임.

※ 자료 : 농업과학기술원, 1994

<표 3-25> 담수 직파재배 가능지 토양통

| 구 분           | 토 성            | 토양배수            | 토 양 통 명  |
|---------------|----------------|-----------------|--|
| 최적지<br>(20개통) | 식 양 질<br>미사식양질 | 약간불량<br>약간불량    | 만성, 승주, 신흥, 양곡, 영산, 울포, 지산, 평해, 효천<br>가곡, 달동, 덕하, 등구, 미원, 봉곡, 전북, 춘포, 평택,<br>향호, 유가  |
| 적 지<br>(82개통) | 식 양 질          | 약간양호            | 구곡B, 금곡B, 대원B, 덕곡B, 비천B, 삼암B, 안계B, 안미,<br>안미B, 오천, 옥계B, 용지B, 울곡B, 장유B, 진목B, 천평B,<br>칠곡B, 칠원, 통천, 판곡B, 학산, 학산B, 함평, 함평B,<br>행곡, 행곡B |
|               |                | 약간불량<br>불 량     | 도곡B, 아곡B, 양곡B, 임곡B, 지산B, 진도B, 지산-용지B<br>다평*, 백구*   |
|               | 미사식양질          | 약간양호            | 강진B, 경산B, 규암, 방곡B, 심천, 용강B, 죽곡B,<br>청계B, 청원  |
|               | 식 질            | 약간불량<br>불 량     | 가곡B, 금서B, 문경B, 미원B, 봉곡B, 예곡B, 월평B,<br>유가B, 유곡B, 종곡B<br>복천*   |
|               |                | 약간양호            | 극락, 극락B, 대정B, 덕평, 덕평B, 동송, 방기B, 용수B,<br>초계B, 파주, 파주B, 화동, 화동B, 화동-호남   |
|               |                | 약간불량            | 김제, 봉남, 부용, 연천, 연천B, 유계, 철원, 철원B, 해안,<br>호남, 호남-극락, 호남-극락B, 해안B  |
| 가능지<br>(42개통) | 사 양 질          | 약간양호            | 강서, 고천, 동암B, 마곡B, 마령, 마령B, 매곡B, 복내B,<br>산계B, 압곡B, 용곡B, 월곡, 월곡B, 은곡B, 장계B   |
|               |                | 약간불량            | 가천, 감천, 감천B, 사촌B, 석계, 석천, 수북B, 점곡B,<br>학포, 회곡B   |
|               | 미사사양질          | 불 량             | 회수*  |
|               |                | 약간양호            | 오평   |
|               | 미사식양질          | 약간불량            | 광포, 남평, 만경, 물금   |
| 식 질           | 불 량            | 고령, 고령B, 수계, 학성 |  |
|               |                | 불 량             | 공덕, 서탄, 신평, 여수, 용호, 이호, 포리   |

\* 표시는 배수가 50cm이하 부터 불량한 토양임.

※자료 : 농업과학기술원, 1994

### 3.4.2 직파적지 조사

직파재배를 고려하여 수원공을 설계하기 위해서는 해당 관개구역에 대한 직파적지를 조사하고 적지면적을 산출하여야 한다. 적지면적을 산출함으로써 해당 지역의 직파방식을 고려하여 향후 직파재배 가능면적을 추정할 수 있으며 이를 설계에 반영할 수 있기 때문이다.

금회 조사에서는 3.3의 수원공별 직파현황 조사 구역인 6개 농조지역에 대하여 직파적지 현황을 조사하였다. 수원공별 직파재배 적지면적 현황을 조사한 방법은 아래와 같다.

- 1) 농조 구역별 관개면적 및 관개구역도(1:25,000) 작성
- 2) 주수원공별 관개구역도 작성
- 3) 정밀토양도(1:25,000) 준비
- 4) 농과원의 직파적지 토양통 분류기준에 따라 토양통에 의한 직파적지 구분
- 5) 재배방식별 직파 최적지, 적지, 가능지 구분
- 6) 정밀토양도(1:25,000)에서 직파적지 구역도 작성
- 7) 한계표고 이상의 직파적지 제외
- 8) 농조 관개구역별 직파 적지면적 산정
- 9) 주수원공별 직파 적지면적 산정

위와 같은 방법으로 직파재배 현황 및 적지면적을 산출한 자료는 장래의 설계 지구에 이양재배 및 직파재배 분포를 고려한 수리시설물 설계 계획에 적용하면 보다 합리적이고 현실적인 수리시설물 설계의 바탕이 될 것으로 판단된다.

### 3.4.3 표본구역 직파적지 조사

표본구역에 대한 직파적지를 조사한 결과 전체 조사면적중 39,362ha가 적지면적으로 판명되어 조사면적에 대한 비율은 70.0%로 나타났다. 이는 담수직파

적지면적 산출자료를 따른 것으로 직파 적지면적 중에서 최적지가 19.9%로 11,182ha, 적지는 12,252ha로 21.8%, 가능지는 15,928ha로 28.3%로 분류된다.

표본구역에 대한 담수직파 적지면적 산출내역은 <표 3-26>과 같으며 이를 관개 구역의 대소에 따라 분류하면 대규모 관개구역에서 76.0%로 가장 높게 나타났으며 중규모에서는 53.9%로 가장 적게 나타났다. 소규모 관개구역에서의 직파적지는 65.9%이다. 이를 다시 중·남부로 분류하면 남부지역에서는 73.3%이며 중부지역에서는 62.3%로 남부지역이 직파적지가 많음을 알 수 있으며 서부 평야부와 동부산간지로 분류하였을 경우에는 평야지에서는 76.1%로 높게 나타났으나 산간지에서는 전국 평균 55.4% 보다 적은 52.7%로 나타났다.

<표 3-26> 표본구역의 담수직파 적지면적 산출

(단위 : ha, %)

| 구 분            | 조사면적   | 직파적지 면적 |        | 최 적 지  |       | 적 지    |       | 가 능 지  |        |      |
|----------------|--------|---------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|------|
|                |        | 면 적     | 비 율    | 면 적    | 비 율   | 면 적    | 비 율   | 면 적    | 비 율    |      |
| 전 체            | 56,207 | 39,362  | 70.0   | 11,182 | 19.9  | 12,252 | 21.8  | 15,928 | 28.3   |      |
| 관개<br>면적<br>별  | 대규모    | 38,292  | 29,115 | 76.0   | 8,893 | 23.2   | 5,779 | 15.1   | 14,443 | 37.7 |
|                | 중규모    | 12,947  | 6,972  | 53.9   | 2,256 | 17.4   | 3,840 | 29.7   | 876    | 6.8  |
|                | 소규모    | 4,968   | 3,275  | 65.9   | 33    | 0.7    | 2,633 | 53.0   | 609    | 12.3 |
| 중·남<br>부별      | 중 부    | 16,567  | 10,321 | 62.3   | 3,824 | 23.1   | 2,917 | 17.6   | 3,580  | 21.6 |
|                | 남 부    | 39,640  | 29,041 | 73.3   | 7,358 | 18.6   | 9,335 | 23.5   | 12,348 | 31.2 |
| 평야<br>산간<br>지별 | 평야지    | 41,565  | 31,645 | 76.1   | 8,893 | 21.4   | 8,309 | 20.0   | 14,443 | 34.7 |
|                | 산간지    | 14,642  | 7,717  | 52.7   | 2,289 | 15.6   | 3,943 | 26.9   | 1,485  | 10.1 |

표본구역에 대하여 전담직파 적지면적을 산출한 결과 전체 조사면적에 대한 적지면적은 60.3%로 나타났으며 이중 최적지는 3.2%, 적지는 33.0%, 가능지는 24.1%로 분류되었다. 표본구역에 대한 직파 적지면적 산출내역은 <표 3-27>에 나타난

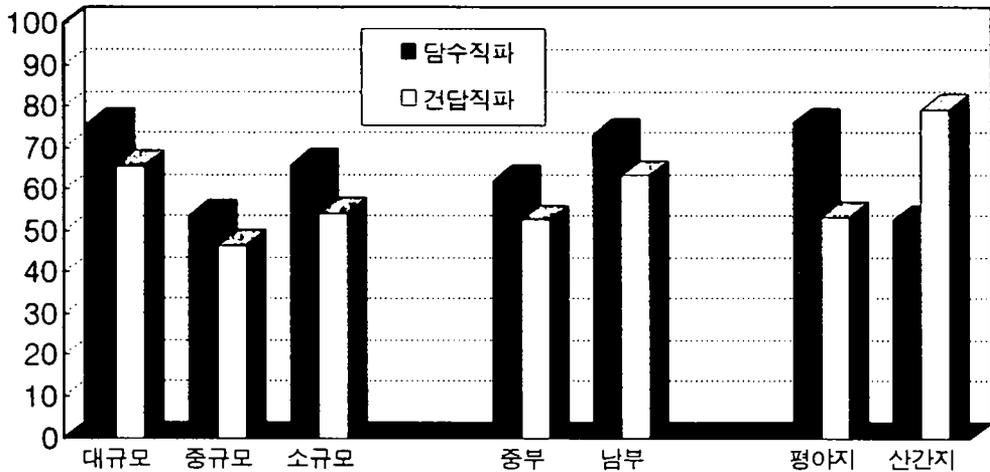
바와 같다.

<표 3-27> 표본구역의 건답직파 적지면적 산출

(단위 : ha, %)

| 구 분         | 조사면적   | 건답직파 적지 |         | 최 적 지 |       | 적 지    |        | 가 능 지  |       |       |
|-------------|--------|---------|---------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|
|             |        | 면 적     | 비 율     | 면 적   | 비 율   | 면 적    | 비 율    | 면 적    | 비 율   |       |
| 전 체         | 56,207 | 33,872  | 60.3    | 1,822 | 3.2   | 18,526 | 33.0   | 13,524 | 24.1  |       |
| 관 개 면 적 별   | 대규모    | 38,292  | 25,1126 | 65.6  | 1,567 | 4.1    | 14,748 | 38.5   | 8,811 | 23.0  |
|             | 중규모    | 12,947  | 6,039   | 46.6  | 125   | 0.9    | 1,766  | 13.6   | 4,148 | 32.0  |
|             | 소규모    | 4,968   | 2,707   | 54.5  | 130   | 2.6    | 2,012  | 40.7   | 565   | 1.4   |
| 중 남 부 별     | 중 부    | 16,567  | 8,730   | 52.7  | 273   | 1.6    | 4,724  | 28.6   | 3,733 | 22.5  |
|             | 남 부    | 39,640  | 25,142  | 63.4  | 1,549 | 3.9    | 13,802 | 34.8   | 9,791 | 34.21 |
| 평 야 산 간 지 별 | 평야지    | 41,565  | 22,245  | 53.5  | 1,567 | 3.8    | 16,478 | 39.6   | 4,200 | 10.1  |
|             | 산간지    | 14,642  | 11,627  | 79.4  | 255   | 1.7    | 2,048  | 14.0   | 9,324 | 63.7  |

직파 적지면적을 관개구역의 대소에 따라 분류하면 대규모 관개구역에서는 65.6%, 중규모 및 소규모에서는 각각 46.6%, 54.5%로 나타났으며, 중.남부별로 구분하면 중부 보다는 남부에서 건답직파 적지가 많이 산출되었다. 그러나 서부 평야지와 동부 산간지를 비교하였을 경우에는 담수재배와는 다르게 동부 산간지에서 직파적지가 많이 분포함을 알 수 있다. 표본구역에 대한 담수직파 및 건답직파의 적지면적 비율을 구역별로 나타내면 <그림 3-9>과 같다.



<그림 3-9> 표본구역 직파 적지면적 비율

### 3.4.4 수원공별 직파적지

표본구역의 직파 적지면적 산출 결과를 수원공별로 분류하면 건답직파의 경우 저수지 구역에서는 61.9%가 직파적지로 나타났으며 양수장 구역에서는 조사대상 면적의 44.6%, 보를 용수원으로 하는 구역에서는 조사면적의 78.7%가 직파적지로 나타났다. 표본구역에서 수원공별 직파적지 면적을 재배양식별로 산출한 결과는 <표 3-28> 및 <표 3-29>에 나타내었다.

<표 3-28> 표본구역 수원공별 건답직파 적지면적

(단위 : ha, %)

| 구분  | 조사면적   | 건답직파 적지 |      | 최 적 지 |     | 적 지    |      | 가 능 지  |      | 비고 |
|-----|--------|---------|------|-------|-----|--------|------|--------|------|----|
|     |        | 면적      | 비율   | 면적    | 비율  | 면적     | 비율   | 면적     | 비율   |    |
| 저수지 | 49,184 | 30,429  | 61.9 | 1,742 | 3.6 | 17,755 | 36.1 | 10,932 | 22.2 |    |
| 양수장 | 6,109  | 2,724   | 44.6 | 69    | 1.1 | 613    | 10.0 | 2,042  | 33.5 |    |
| 보   | 914    | 719     | 78.7 | 11    | 1.2 | 158    | 17.3 | 550    | 60.2 |    |

<표 3-29> 표본구역 수원공별 담수직과 적지면적

(단위 : ha, %)

| 구 분 | 조사면적   | 담수직과 적지 |      | 최 적 지 |      | 적 지    |      | 가 능 지  |      | 비고 |
|-----|--------|---------|------|-------|------|--------|------|--------|------|----|
|     |        | 면 적     | 비 율  | 면 적   | 비 율  | 면 적    | 비 율  | 면 적    | 비 율  |    |
| 저수지 | 49,184 | 35,010  | 71.2 | 9,479 | 19.3 | 10,313 | 21.0 | 15,218 | 30.9 |    |
| 양수장 | 6,109  | 3,609   | 59.1 | 1,257 | 20.6 | 1,733  | 28.4 | 619    | 10.1 |    |
| 보   | 914    | 743     | 81.3 | 446   | 48.8 | 206    | 22.5 | 91     | 10.0 |    |

<표 3-29>에서 보는 바와 같이 담수직과에서는 저수지의 경우 조사면적의 71.2%, 양수장에서는 59.1%, 보를 용수원으로 하는 구역에서는 81.3%가 직과적지로 나타났다.

이와같은 수원공별 직과적지 면적은 직과재배를 고려한 농업용수개발계획 수립 시 개략적인 직과면적을 산출하는데 중요한 자료가 될 것이다.

### 3.4.5. 표고별 직과적지

금회 조사에서는 표본구역 전체에 대하여 토양통의 분류기준에 의하여 직과적지 면적을 산출하고 이 직과적지의 표고별 적지면적의 분포를 조사하였다.

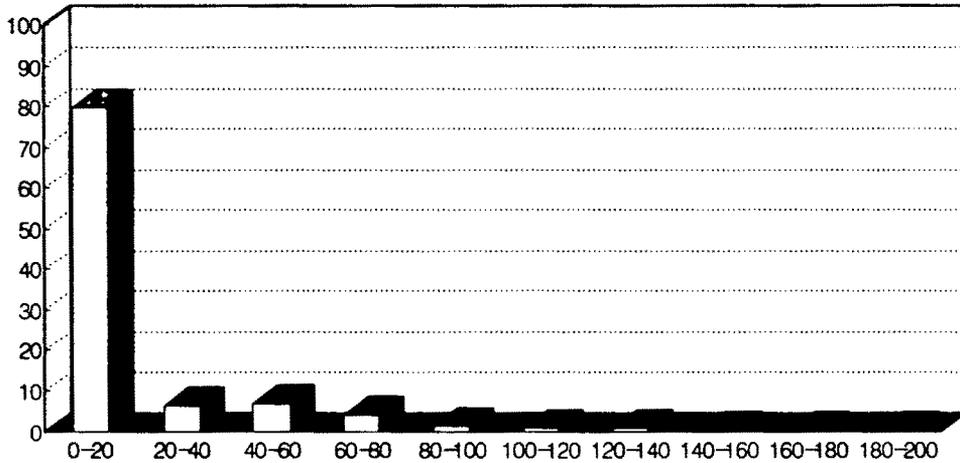
조사결과는 <표 3-30>과 같으며 이는 담수직과 적지면적 산출자료에 따른 것으로 표고 EL.m 0.0~20.0 사이에서 전체 직과적지의 79.6%가 분포하고 있는 것으로 나타났다.

<표 3-30> 표본구역의 표고별 적지면적 산출 내역

(단위 : ha, %)

| 표 고<br>(EL.m)<br>수원공명 | 200~<br>180 | 180~<br>160 | 160~<br>140 | 140~<br>120 | 120~<br>100 | 100~<br>80 | 80~<br>60 | 60~<br>40 | 40~<br>20 | 20~<br>0.0 | 계      |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|-----------|------------|--------|
| 면 적                   | 99          | 36          | 74          | 353         | 253         | 511        | 1,576     | 2,587     | 2,538     | 31,335     | 39,362 |
| 비 율                   | 0.3         | 0.1         | 0.2         | 0.9         | 0.6         | 1.3        | 4.0       | 6.6       | 6.4       | 79.6       | 100    |

표에서 보는 바와 같이 조사대상 지역의 토양통의 분류기준에 의한 직파적지는 남부지방의 한계표고인 EL.100m 이하에서는 97.9%가 분포하고 있었다. 표본지구의 직파적지의 표고별 분포는 <그림 3-10>과 같다.



<그림 3-10> 표본구역의 표고별 적지면적 분포도

### 3.4.6 직파적지 시행면적 분석

토양통과 적지표고를 이용하여 산출한 표본구역별 직파 적지면적에 대한 직파시행 면적비를 분석한 결과는 <표 3-31>와 같다. 담수직파의 경우 적지면적은 39,362ha로 산출되었으나 실제 직파를 시행하고 있는 면적은 2,446ha로 나타나 시행비율은 6.2%에 불과하였으나 건담직파의 경우에는 적지면적에 대한 직파시행 비율이 27.5%로 높게 나타났다. 이러한 이유는 직파적지가 많은 남부, 서부 평야 지대에서 주로 건담직파를 시행하고 있는 결과때문인 것으로 보여진다.

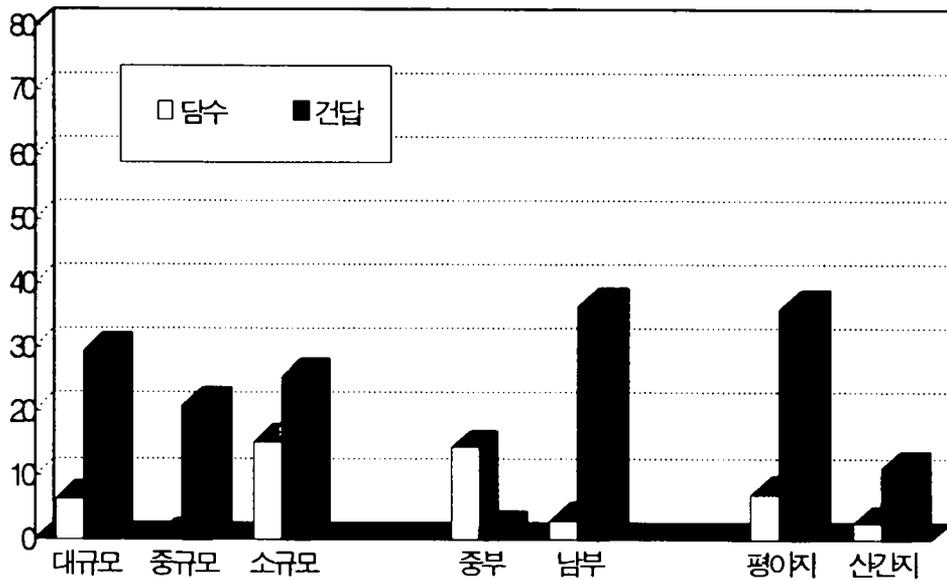
이를 관개구역의 대소에 따라 구분하면 대규모 지역에서는 건담 시행비율이 높게 나타났으며 소규모 지역에서 상대적으로 담수직파 시행비율이 높았다. 또한 중부 보다는 남부에서 산간지 보다는 평야지에서 직파 시행비율이 높았으나 전체 적으로 30% 이내로 나타나 아직도 직파재배가 확대될 수 있는 여건은 충분함을

알 수 있다. 표본구역에 대한 직파 시행비율을 도표로 나타내면 <그림 3-11>과 같다

<표 3-31> 표본구역 직파 적지면적 및 시행면적 비율

(단위 : ha, %)

| 구 분            | 조사면적   | 담 수 직 파 |        |       | 건 답 직 파 |        |       | 비 고  |  |
|----------------|--------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|------|--|
|                |        | 적지      | 시행지    | 비율    | 적지      | 시행지    | 비율    |      |  |
| 전 체            | 56,207 | 39,362  | 2,446  | 6.2   | 33,872  | 9,311  | 27.5  |      |  |
| 관개면적별          | 대규모    | 38,292  | 29,115 | 1,913 | 6.6     | 25,126 | 7,376 | 29.4 |  |
|                | 중규모    | 12,947  | 6,972  | 32    | 0.5     | 6,039  | 1,254 | 20.8 |  |
|                | 소규모    | 4,968   | 3,275  | 501   | 15.3    | 2,707  | 681   | 25.2 |  |
| 중남부별           | 중부     | 16,567  | 10,321 | 1,485 | 14.4    | 8,730  | 162   | 1.9  |  |
|                | 남부     | 39,640  | 29,041 | 961   | 3.3     | 25,142 | 9,149 | 36.4 |  |
| 평야<br>산간<br>지별 | 평야지    | 41,565  | 31,645 | 2,249 | 7.1     | 22,245 | 8,019 | 36.0 |  |
|                | 산간지    | 14,642  | 7,717  | 197   | 2.6     | 11,627 | 1,292 | 11.1 |  |



<그림 3-11> 표본구역 직파 적지면적 및 시행면적 비율

### 3.4.7 직파적지의 적용

농업용수개발사업의 신규지구 계획시 농업용수량을 산정하기 위해 지금까지는 벼 이앙재배만을 고려하여 작물의 필요수량을 산정하였다. 그러나 벼 재배 유형의 변화를 앞에서 살펴본 바와 같이 직파재배가 계속 증가하고 있는 추세에 있으므로 앞으로는 이와 같은 변화를 고려하여야 한다.

직파재배를 고려한 농업용수 신규개발지구를 설계하기 위해서는 직파적지를 산정하고 향후 직파적지에 직파재배를 시행할 것을 가정하여야 한다. 따라서 향후 수리시설물의 규모 결정은 직파재배 및 이앙재배와의 관계를 고려한 혼합재배 방식의 벼 재배유형에 대하여 설계기준을 마련하는 것이 직파재배가 증가하고 있는 현실에서 예견되는 용수공급 부족을 대비하는 하나의 방법으로 판단된다.

혼합재배 방식을 고려한 설계기준을 마련하기 위해서는 직파적지 비율이 중요한 요소로 작용하므로 전국 평균 직파적지 비율 및 금회 조사한 중부 및 남부지역의 직파적지 비율을 <표 3-32>와 같이 정리하였다. 여기서 전국 평균 직파적지 비율을 고려한 혼합재배는 직파재배가 55.4%, 이앙재배가 44.6%를 차지하게 되며 직파비율 중에서 건답은 26.7%, 담수가 28.7%로 구분되어 진다. 또 다른 경우는 금회 조사한 중·남부의 직파적지 평균으로 적지비율은 67.8%, 이앙재배는 32.2%이며 직파비율 중에서 건답은 31.3%, 담수는 36.5%를 차지하고 있는 혼합재배 방식으로 크게 구분 할 수 있다.

이들 양자의 경우 중에서 현지 주변의 용수공급 시설이 부족한 경우에는 후자의 경우를 선택하여 개략적으로 수리시설물의 규모를 결정하는데 설계기준으로 이용 될 수 있을 것이다.

또한 정밀한 현장 조사에 의한 직파재배 적지는 3.4의 직파적지 산출 방법과 같이 정밀 토양도(1:25,000)를 이용하여 건답, 담수직파의 적지 토양통을 구분하고 지역별 표고를 고려하여 적지 면적을 산출하여 혼합재배 방식에 따른 수리시설물

의 규모결정을 위하여 직파적지 비율을 적용 할 수 있을 것이다.

<표 3-32> 직파적지 비율

(단위 : %)

| 직파재배 | 전국평균       | 중부   | 남부   | 중·남부평균     | 비 고                           |
|------|------------|------|------|------------|-------------------------------|
| 건답직파 | 51.6(26.7) | 52.7 | 63.4 | 58.1(31.3) | ( ) : 혼합재배에<br>따른 직파 적지<br>비율 |
| 담수직파 | 55.4(28.7) | 62.3 | 73.3 | 67.8(36.5) |                               |

# 여 백

## 제4장 직파재배 소비수량 시험

4.1 작물계수 시험

4.2 포장용수량 산정

4.3 시험결과의 고찰

여 백

## 제4장 직파재배 소비수량 시험

### 4.1 작물계수 시험

#### 4.1.1 시험목적

벼 재배시 경지 안에서 소요되는 물의 양으로는 증발산량과 삼투량이 있다. 이 중 증발산량은 엽면에서 일어나는 증산량과 수면에서 일어나는 증발량의 합으로서, 증발산량은 작물의 종류, 생육단계 그리고 생육기간 동안의 기상에 의해 영향을 받으므로 이에 대한 시험적 연구를 시행함으로써 이론적으로 계산된 잠재 증발산량과의 관계에서 작물계수를 유도 할 수 있다.

최근 생산비 절감효과를 꾀하고 노동력의 감소에 대처하기 위하여 수도작의 재배방식중 직파재배의 면적이 증가하고 있으며, 이는 이앙재배와는 달리 이앙을 하지 않고 직접 논에 파종하므로써 작물의 재배 시기와 방식의 변화에 따른 작물 계수의 정립이 필요하게 되었다.

따라서 본 시험의 목적은 1995년에서 1997년까지 3개년에 걸쳐 우리 나라의 중부지역과 남부지역에 대해 대표적인 지역을 선정하고, 직파재배에 적합한 품종을 선택하여 생육기간별 증발산량을 측정하였으며, 이에 따라 수정 Penman공식과 수정 B-C 공식에 의한 잠재증발산량 공식의 작물계수를 산정하고 필요수량 추정 에 이용할 수 있는 기초자료를 마련하는데 있다.

#### 4.1.2 시험포장

##### 가. 기간

1995. 5. ~ 1997. 10 (3개년)

## 나. 위치

시험포장은 중부지방에서는 수원, 남부지방에서는 대구를 선정하였고 그 위치는 1, 2차년도 시험지역과 동일하다

- 1) 수원 : 경기도 수원시 서둔동 서울대학교 농업생명과학대학 부속농장
- 2) 대구 : 대구광역시 북구 산격동 경북대학교 농과대학 부속농장

## 다. 토양 특성

각 지역의 시험포장에서 채취한 3점의 토양에 대해 이화학적 성질을 분석하였다. 분석한 결과의 지역별 평균값은 <표 4-1>과 같다.

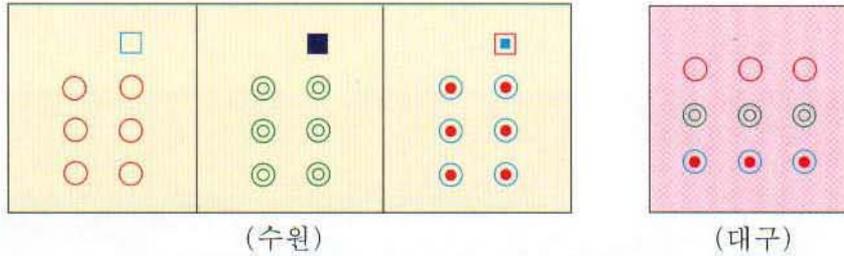
<표 4-1> 시험포장의 토양특성

| 지역 \ 항목 | pH  | O.M (%) | 입도 분석(%) |    |    | 토성  |
|---------|-----|---------|----------|----|----|-----|
|         |     |         | 모래       | 실트 | 점토 |     |
| 중부(수원)  | 5.3 | 2.00    | 70       | 23 | 7  | 사양토 |
| 남부(대구)  | 6.4 | 1.85    | 28       | 34 | 38 | 식양토 |

## 라. 시험구 배치

시험구 배치는 수원지역의 경우 담수직파의 증발산량을 측정하기 위해 유저형 라이시미터를 사용하였다. 담수직파의 경우 조생종, 중생종, 만생종에 대하여 Ø20cm의 원형 유저 라이시미터를 6반복으로 측정할 수 있도록 모두 18개를 설치하였으며, 담수심은 6cm를 기준으로 하여 소비수량을 조사하였다. 또한 교차 검증을 위하여 사각형 라이시미터를 조생종, 중생종, 만생종에 대해 각각 1개씩 배치하여 측정하였다.

대구지역의 경우는 담수직파의 증발산량을 측정하기 위해 조생종, 중생종, 만생종의 품종별로 3반복으로 측정하도록 9개의 유저 라이시미터를 시험포장에 배치하였다. 수원지역과 대구지역의 시험포장 라이시미터 배치현황은 <그림 4-1>과 같다.



- 유저 원통형 라이시미터 (조생종, 6cm 담수심)
- ◎ 유저 원통형 라이시미터 (중생종, 6cm 담수심)
- 유저 원통형 라이시미터 (만생종, 6cm 담수심)
- 유저 사각형 라이시미터 (조생종, 6cm 담수심)
- 유저 사각형 라이시미터 (중생종, 6cm 담수심)
- ▣ 유저 사각형 라이시미터 (만생종, 6cm 담수심)

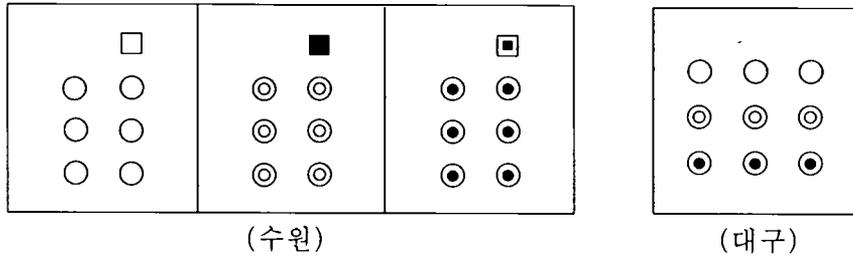
〈그림 4-1〉 시험포장별 라이시미터 배치현황

#### 마. 시험포장 전경

수원지역과 대구지역의 시험포장 전경은 〈그림 4-2(a~b)〉 와 같다.



〈그림 4-2(a)〉 시험포장 전경(수원지역)



- 유저 원통형 라이시미터 (조생종, 6cm 담수심)
- ◎ 유저 원통형 라이시미터 (중생종, 6cm 담수심)
- 유저 원통형 라이시미터 (만생종, 6cm 담수심)
- 유저 사각형 라이시미터 (조생종, 6cm 담수심)
- 유저 사각형 라이시미터 (중생종, 6cm 담수심)
- ▣ 유저 사각형 라이시미터 (만생종, 6cm 담수심)

〈그림 4-1〉 시험포장별 라이시미터 배치현황

#### 마. 시험포장 전경

수원지역과 대구지역의 시험포장 전경은 〈그림 4-2(a~b)〉 와 같다.



〈그림 4-2(a)〉 시험포장 전경(수원지역)



〈그림 4-2(b)〉 시험포장 전경(대구지역)

#### 4.1.3 기상자료

본 연구에서는 잠재증발산량의 산정을 위해 수정 Penman식과 Blaney-Criddle 식을 사용하였다. 수정 Penman식을 사용하기 위한 기상인자로서는 평균기온, 최소 기온, 상대습도, 평균풍속, 일사량 및 일조시간이 있으며, Blaney-Criddle식을 사용하기 위한 기상인자는 평균온도만을 고려하였다.

한편, 강우량은 일별 증발산량에 큰 영향을 미치는 기상요소라고 볼 수 있으므



〈그림 4-2(b)〉 시험포장 전경(대구지역)

#### 4.1.3 기상자료

본 연구에서는 잠재증발산량의 산정을 위해 수정 Penman식과 Blaney-Criddle 식을 사용하였다. 수정 Penman식을 사용하기 위한 기상인자로서는 평균기온, 최소 기온, 상대습도, 평균풍속, 일사량 및 일조시간이 있으며, Blaney-Criddle식을 사용하기 위한 기상인자는 평균온도만을 고려하였다.

한편, 강우량은 일별 증발산량에 큰 영향을 미치는 기상요소라고 볼 수 있으며

로 기상인자의 분석과 함께 강우량의 분석도 실시하였다. 강우시에는 태양의 복사열이 구름과 강우에 의해 많이 차단되고 기온이 낮아지며 습도가 상승하게 되므로 공기중의 포화증기압이 증가하게 된다. 이와 같은 변화는 증발산량을 감소시키는데 알맞는 환경조건이 되며, 반대의 경우는 증발산량을 증가시키는데 좋은 조건이 된다.

### 가. 수원지역

수원지역 잠재증발산량 산정을 위한 일별 기상자료는 시험포장에서 약 1km떨어진 곳에 위치한 수원관측소의 기상자료를 이용하였다. 강우량, 기온, 일조시간, 상대습도의 기상인자 일별 변화는 <그림 4-3(a~d)>와 같다.

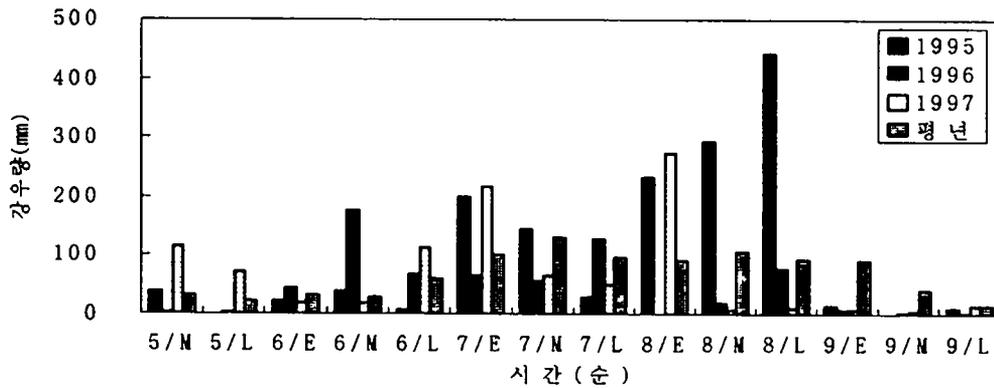
벼 재배기간중 강우량은 3년간의 순별 강우량 합계가 평년강우량 합계와 차이가 많이 나타나고 있어 시험기간 3년간의 기상상태가 연도별로 변화가 많았음을 알 수 있다. 연도별로는 1995년에 특히 강우가 많이 발생하였으며, 1996년도에는 분포가 고르지만 6월 중순과 7월 하순에 많이 발생하였음을 알 수 있고, 1997년도에는 파종기인 5월 초순과 중순에 벼의 생장기인 7월 초순과 8월 초순에 많이 발생하였으며 다른 시기에는 평년에 비하여 적게 발생하므로써 강우의 유효율은 높고 생장에 필요한 일조량이 많아 벼의 생육과 증발산량의 증가에 영향을 줄 것으로 사료된다.

벼 재배기간중인 5월에서 9월 까지의 3년간 온도변화는 전체적으로 평년기온보다 높은 분포를 나타냈으며, 97년도에는 특히 6월 중순, 7월 하순, 9월 초순 등이 평년에 비하여 높은 온도 분포를 나타내었다.

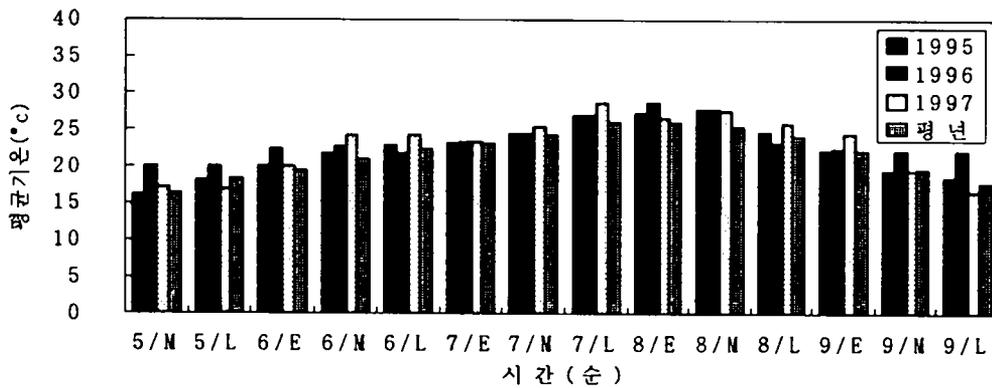
상대습도의 변화는 평년과의 차이가 3년 동안 크게 나타나지는 않았으나 강우량이 많은 시기에는 높게 나타났음을 알 수 있으며, 1997년도의 상대습도는 전체적으로 평년에 비하여 낮게 나타나 증발산량의 증가에 영향을 줄 것으로 사료된다.

수정 Penman식의 잠재증발산량 산정에 영향을 미치는 일조시간 변화를 살펴보

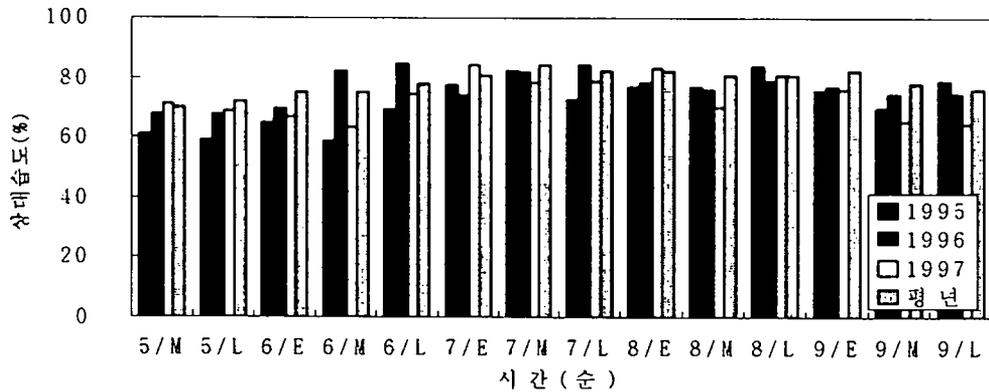
면 연도별 순평균 일조시간 변화가 심하게 나타나고 있으며, 이는 강우량과 밀접한 관련이 있는 것으로 볼 수 있다. 1997년도의 일조시간은 6월 초중순과 벼의 생육이 왕성한 7월 중순에서 9월 초순까지의 일조시간이 평년에 비하여 월등히 높게 나타나고 있음을 알 수 있었다.



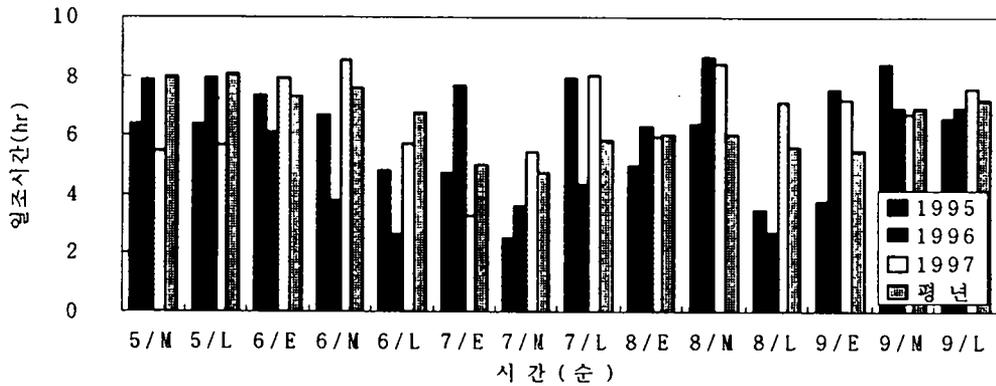
<그림 4-3(a)> 강우량의 순별 변화(수원)



<그림 4-3(b)> 평균기온의 일별 순평균 변화(수원)



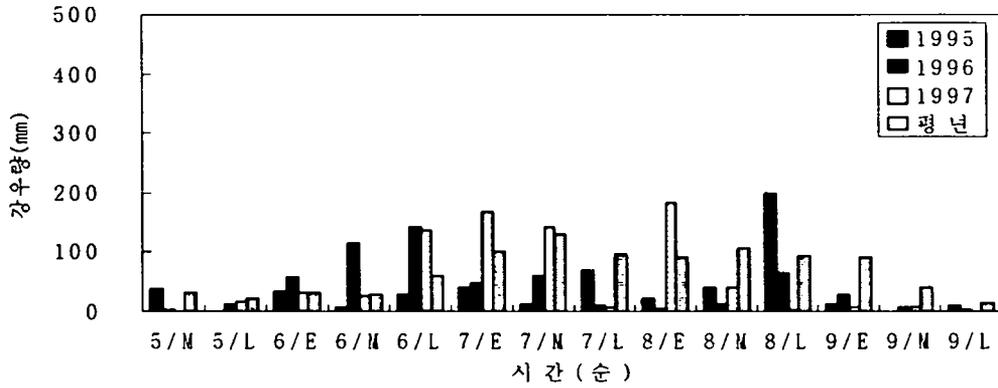
<그림 4-3(c)> 상대습도의 일별 순평균 변화(수원)



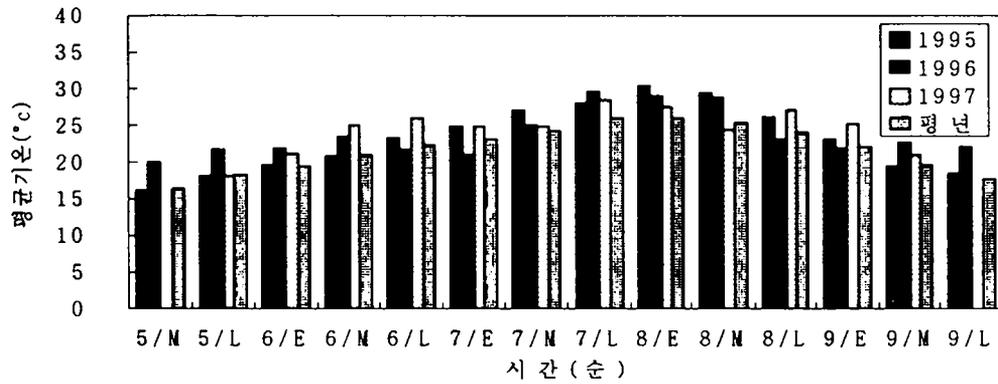
<그림 4-3(d)> 일조시간의 일별 순평균 변화(수원)

#### 나. 대구지역

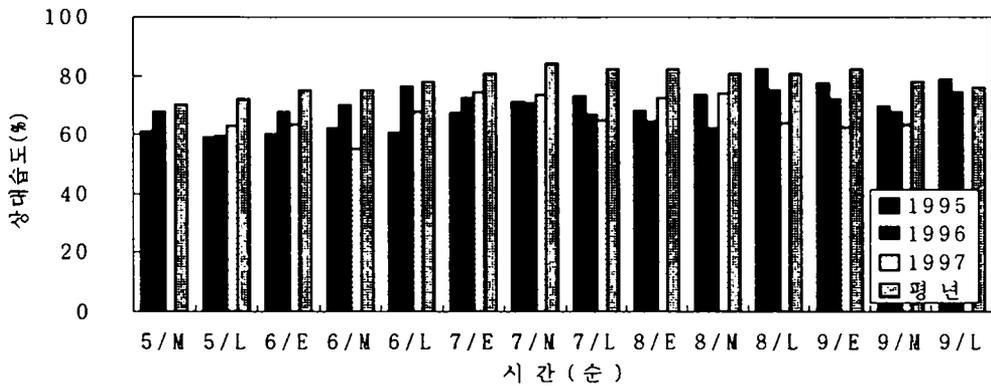
대구지역의 잠재증발산량을 산정하기 위한 기상자료는 시험포장에서 약 700m 떨어진 대구관측소의 자료를 이용하였다. 기상인자와 강우량의 일별 변화는 <그림 4-4(a~d)>와 같다. 대구지역도 수원지역과 마찬가지로 벼 생육초기에 강우가 집중적으로 분포하였으며, 생육후기에는 평년보다 훨씬 적은 강우가 발생하였다. 기상인자를 이용하여 잠재증발산량을 추정하면 7월 하순과 8월 중순이 가장 큰 값을 가질 것으로 예상된다.



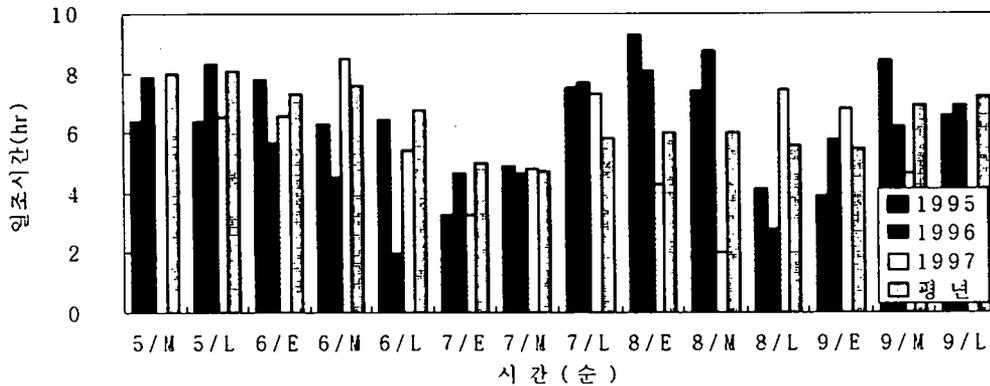
<그림 4-4(a)> 강우량의 순별 변화(대구)



<그림 4-4(b)> 평균기온의 일별 순평균 변화(대구)



<그림 4-4(c)> 상대습도의 일별 순평균 변화(대구)



<그림 4-4(d)> 일조시간의 순별 일평균 변화(대구)

#### 4.1.4 생육자료 조사

##### 가. 품종 및 재배방식

직파재배에 알맞은 품종은 낮은 발아성이 좋고, 담수나 토중에서 발아성이 높으며 초기 신장성이 우수한 단간·내도복성인 품종 중에서 각 지역에 적합한 적응품종을 선택하였으며, 미질이 낮은 비장려품종의 재배는 선택에서 제외하였다.

본 시험에 선택한 공시품종은 3개년간 동일하게 직파재배 장려 품종 중 각 지역에 적합한 품종을 <표 4-2>와 같이 선택하였다. 또 재배방식은 수원지역과 대구지역에서 모두 연구 주제인 담수직파에 대해 실시하였다. 파종시기는 지역에 따라 다르며, 주로 기후와 파종전 재배한 작물과의 관계에 의하여 결정된다. 대체로 일평균 기온이 13℃~15℃이상이면 실용적인 재배가 가능하며 본 시험은 농촌진흥청의 “파종적기 기준”에 따라 실시하였다.

<표 4-2> 지역별 품종 및 재배방식

| 구 분    | 파종시기 | 시험품종 |     |     | 직파종류 |
|--------|------|------|-----|-----|------|
|        |      | 조생종  | 중생종 | 만생종 |      |
| 중부(수원) | 5.11 | 설악   | 화성  | 동진  | 담수직파 |
| 남부(대구) | 5.21 | 상주   | 일품  | 영남  | 담수직파 |

## 나. 시험포장의 처리

직파재배의 단점으로 여러 가지를 들 수 있으나, 그 중 하나가 잡초의 다량 발생이다. 1차년도 시험에서는 잡초의 발생으로 어려움이 많았으나, 금년도 시험에서는 적기에 제초제를 살포하여 잡초의 발생이 거의 억제되었다. <표 4-3>은 3차년도 시험에 대한 수원과 대구 지방에서의 제초제, 병충해 약, 비료의 살포, 낙수 및 기타 시험포장 처리 내역이다.

<표 4-3> 시험포장 처리 내역

| 구 분         | 일시   | 처리내역                   | 효과               | 비고  |
|-------------|------|------------------------|------------------|-----|
| 중 부<br>(수원) | 5.11 | 파종 및 기비 살포, 증발산량 측정 시작 | 기비               |     |
|             | 5.20 | 제초제 살포                 | 제초               |     |
|             | 6.10 | 제초 작업                  | 잡초 및 병충해 발생 억제   |     |
|             | 7.28 | 중간낙수                   |                  | 4일간 |
|             | 8.20 | 추비 살포                  |                  |     |
|             | 9.20 | 조생종, 중생종 완전낙수          |                  |     |
|             | 9.25 | 만생종 완전 낙수              |                  |     |
| 남 부<br>(대구) | 5.21 | 복합비료 살포                | 기비               |     |
|             | 5.27 | 방조망 설치                 | 조류에 의한<br>벌씨손실방지 |     |
|             | 6.22 | 제초제 및 도열병약 살포          | 잡초 및 병충해 발생 억제   |     |
|             | 7.24 | 중간낙수                   |                  | 4일간 |
|             | 7.28 | 비료 살포                  |                  |     |
|             | 8.17 | 살충제 살포                 | 병충해 발생 억제        |     |
|             | 8.20 | 방조망 설치                 | 조류에 의한<br>이삭손실방지 |     |
|             | 9.20 | 완전낙수                   |                  |     |

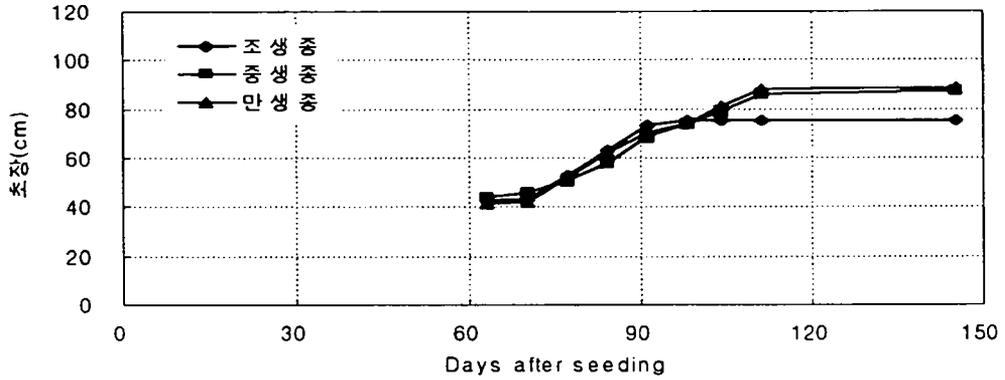
## 다. 생육조사 및 수확량 조사

본 시험연구는 작물을 라이시미터 안에서 재배하므로 포장재배의 생육과

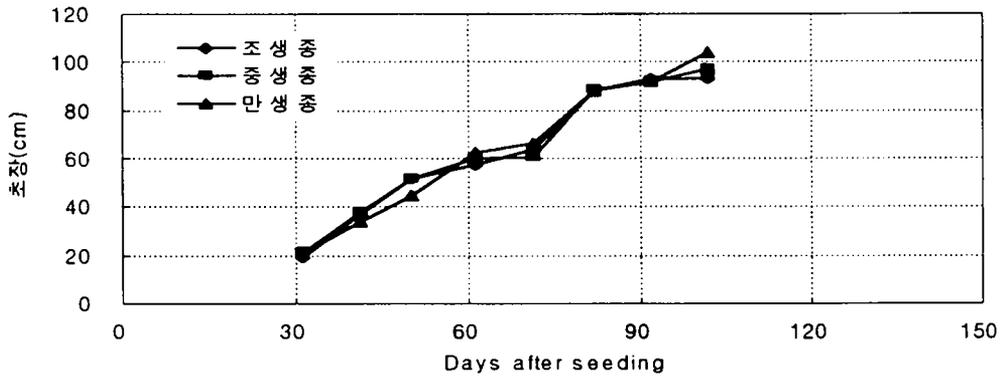
수확량을 비교 분석할 필요가 있어 각각에 대한 생육조사와 수확량 조사를 실시하였다. 본 시험에서는 생육정도를 알아보기 위하여 수원지역은 초장을 생육초기부터 7일단위로 조사하였고, 분얼수는 수확기에 조사하였으며, 대구지역에서는 10일단위로 초장과 분얼수를 조사하였다. 그리고, 두 지역 모두 수확후 6개 항목에 걸쳐 수확량 조사를 실시하였다. 수원과 대구지역의 초장조사 결과는 <표 4-4>, <그림 4-5(a~b)>와 같으며 수확량을 조사한 결과는 <표 4-5>에 수록하였다. 생육정도를 판별하는데 있어 초장을 기준으로 하면 수원지역은 만생종의 성장이 가장 좋았으며, 대구지역은 생육초기에는 중생종의 성장이 가장 좋았으나 생육후기에는 만생종의 성장정도가 가장 우수하였다.

<표 4-4> 품종별 초장 조사

| 구역 | 생육시기  |        | 초장 (cm) |      |       | 비고 |
|----|-------|--------|---------|------|-------|----|
|    | 날짜    | 파종후 일수 | 조생종     | 중생종  | 만생종   |    |
| 수원 | 7. 12 | 63     | 42.8    | 44.1 | 41.2  |    |
|    | 7. 19 | 70     | 43.7    | 45.8 | 42.2  |    |
|    | 7. 26 | 77     | 52.9    | 51.3 | 52.2  |    |
|    | 8. 2  | 84     | 63.0    | 58.2 | 62.4  |    |
|    | 8. 9  | 91     | 73.7    | 68.7 | 70.5  |    |
|    | 8. 16 | 98     | 75.0    | 74.2 | 74.2  |    |
|    | 8. 22 | 104    | 75.1    | 79.4 | 80.8  |    |
|    | 8. 30 | 111    | 75.4    | 86.5 | 88.2  |    |
|    | 10. 4 | 수확     | 75.5    | 87.6 | 88.7  |    |
| 대구 | 6. 20 | 31     | 19.4    | 20.9 | 21.0  |    |
|    | 6. 30 | 41     | 37.3    | 37.9 | 33.6  |    |
|    | 7. 9  | 50     | 52.0    | 52.0 | 44.7  |    |
|    | 7. 20 | 61     | 57.5    | 59.7 | 62.4  |    |
|    | 7. 30 | 71     | 63.6    | 60.7 | 66.6  |    |
|    | 8. 10 | 82     | 88.0    | 88.8 | 88.3  |    |
|    | 8. 20 | 92     | 93.5    | 91.7 | 92.0  |    |
|    | 8. 30 | 102    | 93.5    | 97.0 | 104.2 |    |



<그림 4-5(a)> 벼 초장 변화(수원)



<그림 4-5(b)> 벼 초장 변화(대구)

수확량은 수원지역 만생종인 동진벼의 경우에 간장이 67.5cm, 수장이 20.1cm, 줄기당 이삭수가 100개로 일반포장재배('80~'81, 호남시험장)의 간장 80cm, 수장 21cm, 줄기당 이삭수 103개에 비하여 약 5%~10%정도 차이가 났다.

<표 4-5> 수확량 조사

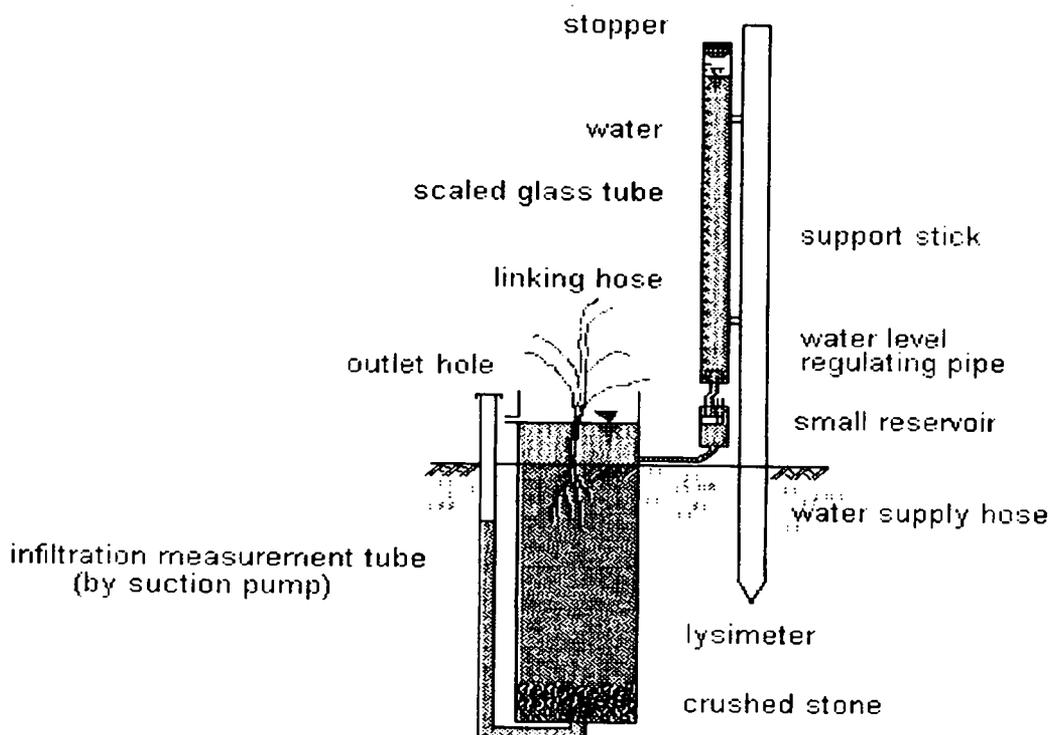
| 지역구분 | 구 분            | 조 생 종   | 중 생 종   | 만 생 종   | 비 고                |
|------|----------------|---------|---------|---------|--------------------|
| 수 원  | 간 장            | 52.2 cm | 64.5 cm | 67.5 cm | 1997. 10. 4.<br>수확 |
|      | 수 장            | 19.2 cm | 19.9 cm | 20.1 cm |                    |
|      | 이 삭 수<br>(줄기당) | 95 개    | 99 개    | 100 개   |                    |
|      | 이삭줄기수          | 17.3 개  | 24.5 개  | 23.5 개  |                    |
|      | 이삭수(주당)        | 1,644 개 | 2,426 개 | 2,350 개 |                    |
|      | 천 럽 중          | 26.8 g  | 28.9 g  | 31.2 g  |                    |
| 대 구  | 간 장            | 65.3 cm | 58.2 cm | 72.5 cm | 1997. 10. 2<br>수확  |
|      | 수 장            | 20.4 cm | 19.5 cm | 18.8 cm |                    |
|      | 이 삭 수<br>(줄기당) | 98 개    | 115 개   | 112 개   |                    |
|      | 이삭줄기수          | 13.6 개  | 15.4 개  | 11.2 개  |                    |
|      | 이삭수(주당)        | 1,333 개 | 1,771 개 | 1,254 개 |                    |
|      | 천 럽 중          | 26.7 g  | 24.8 g  | 26.8 g  |                    |

## 4.1.5 작물 계수

### 가. 증발산량 측정

#### 1) 증발산량 측정장치

증발산량의 측정에 이용된 소형 라이시메타는 <그림 4-6> 에서 보는 바와 같이 설치하였다. 본 장치는 물 공급장치인 Mariotte Tube와 재배수조인 라이시메타(Lysimeter)로 구분되어 있으며, 삼투량을 제외시키고 실제 증발산량만을 측정하기 위하여 바닥이 있는 유저형 라이시메타를 사용하였다.



<그림 4-6> 라이시메타 구조도

## 2) 측정방법

라이시미터를 시험포장에 매설하고 법씨의 발아 후 초기에는 눈금자로써 감수심을 측정하여 조사하고, 초장이 15~20cm 이상(3~4엽) 되었을 때부터 담수를 시작하여 오전 10시를 기준으로 Mariotte tube에 물을 채우고 다음날 오전 10시에 Mariotte tube의 수위 강하량을 측정하여 증발산량을 측정하였다. 한편 담수이전의 증발산량을 측정하기 위하여 초기 담수전에는 메스실린더로 일정한 높이까지 매일 물을 보충하여 이를 일별 증발산량으로 측정하였다.

증발산량 측정은 유저형 라이시미터에서 조생종, 중생종, 만생종 3개품종에 대하여 수원지역은 6반복으로 대구지역은 3반복으로 측정하였으며, 이때 라이시미터의 담수심은 6cm로 하였다.

## 3) 측정결과

유저형 라이시미터를 이용하여 수원지역과 대구지역에서 측정한 순별 평균 증발산량은 <표 4-6(a~b)>와 <그림 4-7(a~f)>과 같다. '97년도 실험에서 중간낙수는 수원지역에서는 7월 하순과 8월 초순에 10일간에 걸쳐 중간낙수를 실시하였으며 대구지역에서는 7월 하순에 4일간 중간낙수를 실시하였다.

수원지역의 작물생육기간 동안에 일별 순평균 증발산량 관측치의 평균 값은 조·중·만생종 각각 1995년도에는 5.1, 5.6, 5.3mm였으며, 1996년도에는 4.8, 5.8, 5.5mm였고, 1997년도에는 5.1, 5.0, 5.0mm로 측정되어 생육기간 동안의 평균 일 증발산량이 4.8~5.8mm사이의 값을 나타내고 있으며, '97년도에는 조·중생종이 8월 중순에 9.6mm, 9.7mm로 측정되어 실험기간중 가장 큰 순평균 일 증발산량을 나타내었으며, 특히 '97년도의 9월 초순과 중순의 순평균 일 증발산량은 '96년도의 값에 비하여 0.7~2.4mm까지 크게 나타나 평년에 비하여 높은 온도와 긴 일조시간 등의 기상조건을 잘 반영하고 있다.

대구지역의 경우에는 작물 생육기간 동안의 순평균 일 증발산량은 1995년에는

8월 4일에서 8일까지 5일간 중간낙수를 실시한 결과로 8월 상순의 증발산량 값은 5일간의 관측치를 10일간의 값으로 환산한 것이며, 1997년에는 7월 24일에서 27일까지 4일간 중간낙수를 실시하여 7월 하순의 증발산량 값은 6일간의 관측치를 10일간의 값으로 환산한 것이다.

순평균 일 증발산량은 1995년에는 조생종, 중생종, 만생종이 각각 5.9mm, 6.1mm, 6.0mm 이었으며 1996년에는 각각 4.7mm, 5.0mm, 4.7mm 로, 1997년에는 각각 5.0 mm, 5.1 mm, 5.1 mm 로 나타났다. 1996년과 1997년의 순평균 일 증발산량은 서로 비슷한 값을 보여주었으며, 이들은 1995년에 비해 작은 값이다. 이는 관측기간이 증발산량 값이 낮은 5월 하순과 9월 중순이 포함되었으며, 전반적으로 1995년에 비해 기온, 풍속, 일조시간 및 일사량이 적은데 기인한 것으로 사료된다.

생육기간중 최대 순평균 일 증발산량은 1995년에는 8월 초순에 8.3 mm 내지 8.7mm 로 나타났으며, 1996년에는 7.3 mm 내지 8.1mm로 나타났으며, 1997년에는 7월 하순에 7.3 mm 내지 7.7mm로 나타났다. 최대 값의 차이는 일조시간과 일사량 등의 기후조건의 차이가 주된 원인으로 판단된다.

<표 4-6(a)> 증발산량 측정 결과(순별 평균, 수원)

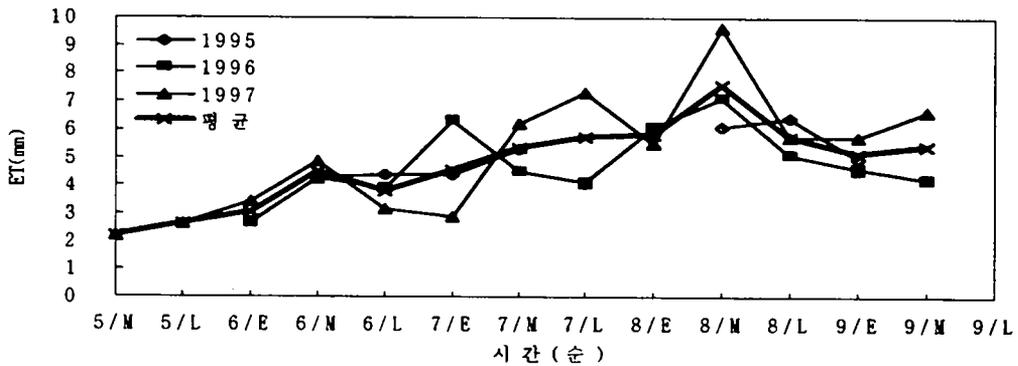
(단위 : mm/day)

| 구 분 | 년도  | 5월  |     | 6월  |     |     | 7월  |     |     | 8월  |     |     | 9월  |     |     | 평균  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     |     | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   |     |
| 조생종 | '95 | -   | -   | -   | 4.3 | 4.4 | 4.4 | 5.3 | -   | -   | 6.1 | 5.4 | 5.0 | -   | -   | 5.1 |
|     | '96 | -   | -   | 2.7 | 4.3 | 3.9 | 6.3 | 4.5 | 4.1 | 6.1 | 7.1 | 5.1 | 4.6 | 4.2 | -   | 4.8 |
|     | '97 | 2.2 | 2.6 | 3.4 | 4.8 | 3.2 | 2.9 | 6.2 | 7.3 | 5.5 | 9.6 | 5.7 | 5.7 | 6.6 | -   | 5.1 |
| 중생종 | '95 | -   | -   | -   | 5.0 | 5.7 | 5.1 | 4.6 | -   | -   | 6.1 | 7.2 | 5.2 | -   | -   | 5.6 |
|     | '96 | -   | -   | 3.5 | 4.9 | 5.0 | 6.4 | 5.6 | 5.2 | 7.1 | 7.9 | 6.2 | 6.0 | 6.0 | -   | 5.8 |
|     | '97 | 2.3 | 2.9 | 3.1 | 4.8 | 2.9 | 2.2 | 4.8 | 7.4 | 5.1 | 9.7 | 6.1 | 6.7 | 6.9 | -   | 5.0 |
| 만생종 | '95 | -   | -   | -   | 3.9 | 4.6 | 5.7 | 5.4 | -   | -   | 5.1 | 6.8 | 5.4 | -   | -   | 5.3 |
|     | '96 | -   | -   | 3.6 | 4.6 | 4.0 | 6.2 | 5.8 | 5.7 | 6.6 | 7.9 | 5.8 | 4.7 | 5.1 | -   | 5.5 |
|     | '97 | 2.3 | 2.1 | 3.2 | 4.9 | 2.9 | 2.5 | 4.6 | 7.3 | 5.8 | 8.7 | 7.3 | 6.7 | 6.8 | 4.6 | 5.0 |

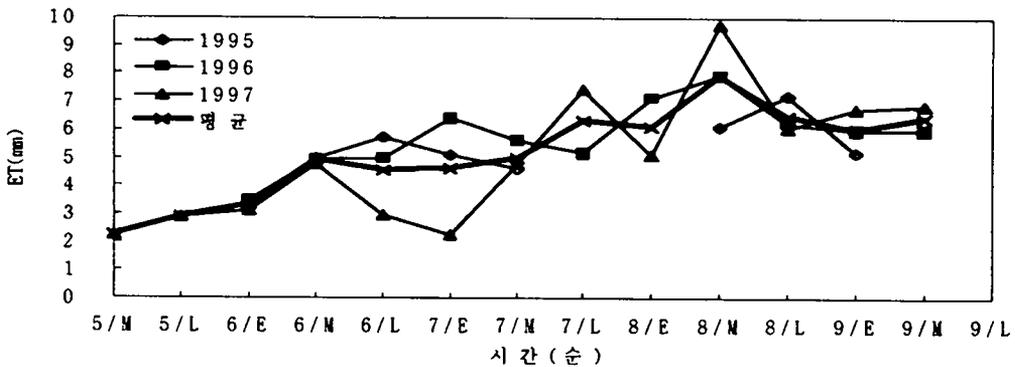
<표 4-6(b)> 증발산량 측정 결과(순별 평균, 대구)

(단위 : mm/day)

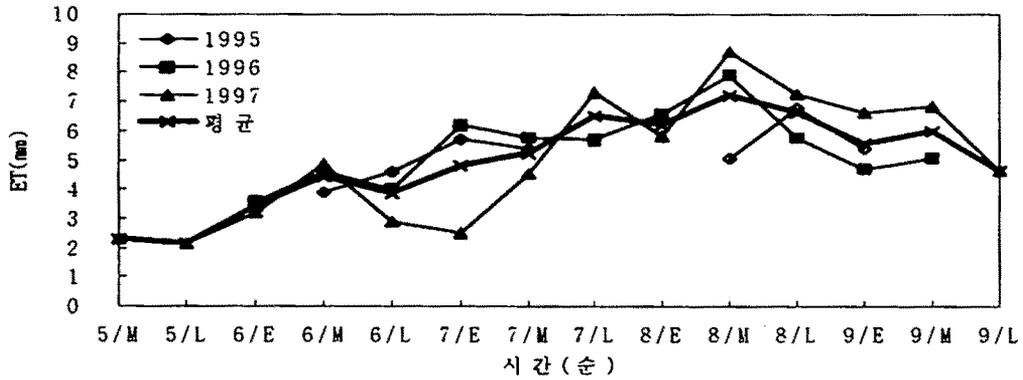
| 구분  | 년도  | 5월 |     | 6월  |     |     | 7월  |     |     | 8월  |     |     | 9월  |     |   | 평균  |
|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|
|     |     | 중  | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   | 하 |     |
| 조생종 | '95 | -  | -   | 5.3 | 4.9 | 5.1 | 4.6 | 7.4 | 6.5 | 8.3 | 7.8 | 4.8 | 4.4 | -   | - | 5.9 |
|     | '96 | -  | 3.9 | 3.7 | 3.4 | 3.3 | 4.4 | 4.6 | 7.3 | -   | 7.2 | 4.7 | 5.4 | 4.3 | - | 4.7 |
|     | '97 | -  | 4.5 | 4.1 | 5.5 | 4.3 | 3.9 | 4.9 | 7.3 | 5.1 | 3.8 | 6.4 | 5.7 | 4.5 | - | 5.0 |
| 중생종 | '95 | -  | -   | 5.3 | 4.9 | 5.2 | 4.6 | 8.1 | 6.9 | 8.3 | 8.2 | 5.0 | 4.8 | -   | - | 6.1 |
|     | '96 | -  | 3.9 | 3.7 | 3.3 | 3.2 | 4.2 | 4.8 | 8.1 | -   | 8.0 | 5.1 | 5.9 | 4.3 | - | 5.0 |
|     | '97 | -  | 4.5 | 4.1 | 5.5 | 4.5 | 4.3 | 4.8 | 7.7 | 5.2 | 4.0 | 6.4 | 5.8 | 4.4 | - | 5.1 |
| 만생종 | '95 | -  | -   | 5.1 | 4.8 | 5.0 | 4.8 | 7.7 | 6.7 | 8.7 | 8.0 | 5.0 | 4.3 | -   | - | 6.0 |
|     | '96 | -  | 3.9 | 3.7 | 3.3 | 3.2 | 4.1 | 4.3 | 7.4 | -   | 7.4 | 4.9 | 5.7 | 4.2 | - | 4.7 |
|     | '97 | -  | 4.5 | 4.1 | 5.5 | 4.4 | 4.1 | 5.0 | 7.5 | 5.3 | 4.1 | 6.5 | 5.9 | 4.1 | - | 5.2 |



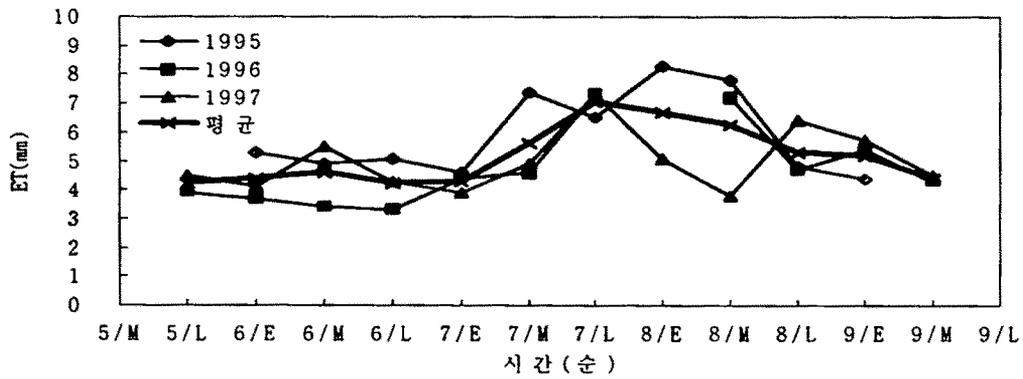
<그림 4-7(a)> 일별 순평균 증발산량(수원, 조생종)



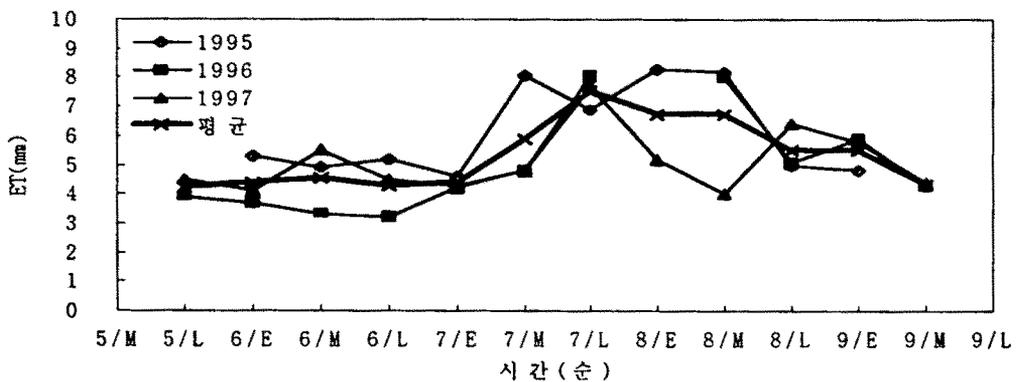
<그림 4-7(b)> 순별 평균 증발산량(수원, 중생종)



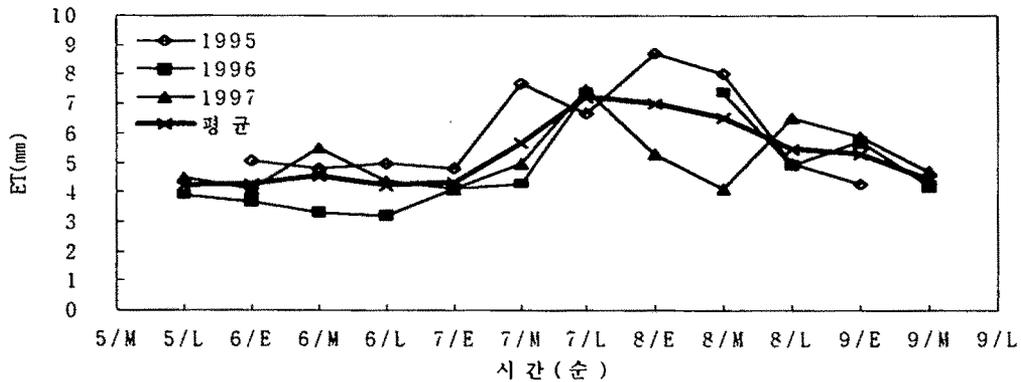
<그림 4-7(c)> 순별 평균 증발산량(수원, 만생중)



<그림 4-7(d)> 순별 평균 증발산량(대구, 조생중)



<그림 4-7(e)> 순별 평균 증발산량(대구, 중생중)



<그림 4-7(f)> 순별 평균 증발산량(대구, 만생종)

#### 나. 잠재증발산량의 산정

잠재증발산량 산정은 수정 Penman공식과 Blaney-Criddle공식을 사용하여 산정하였다. 두 식에 대해서 각각 수원지역과 대구지역의 해당 관측소 기상자료로부터 순평균 일 잠재증발산량을 구한 결과는 <표 4-7>, <표 4-8>와 같고 <그림 4-8(a~b)>, <그림 4-9(a~b)>과 같다.

##### 1) 수정 Penman 공식에 의한 잠재증발산량의 산정

수원지방의 경우에는 <표 4-7>와 <그림 4-8(a)>에서 보는 바와 같이 벼 생육기간 중 수정 Penman식을 사용하였을 경우에는 '95, '96년도에는 4.3mm, 4.2mm로, '97년도에는 4.6mm로 나타나 '97년도의 기상조건이 증발산량을 크게 하는 조건이 되었음을 알 수 있다. 한편 수원지방의 경우에는 잠재증발산량을 산정함에 있어 Doorenbos와 Pruitt가 제시한 공식에 의하여 일조시간을 사용하여 일조량을 계산한 후에 잠재 증발산량을 산정하였다.

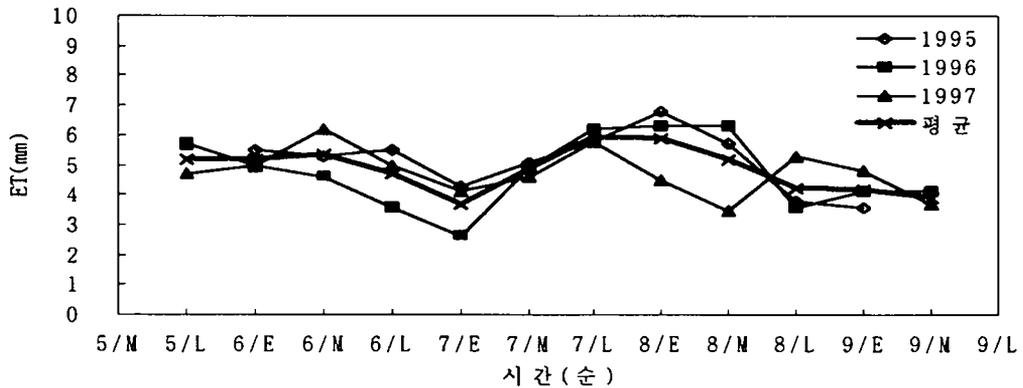
대구지방의 경우에는 벼 생육기간 중 기준작물의 순평균 일 잠재 증발산량 값은 추정방법에 따라 Penman식을 사용하였을 때에는 <표 4-7>와 <그림 4-8(b)>에서 보는 바와 같이 1995년에는 5.1mm, 1996년에는 4.8 mm, 및 1997년에는 4.8

mm로 계산되었다. 이는 수원지방에 비하여 0.2~0.8mm정도 크게 나타난 것으로서 대구지방의 기상조건이 수원지방에 비하여 증발산이 활발하게 발생하는 기후조건임을 보여주고 있다.

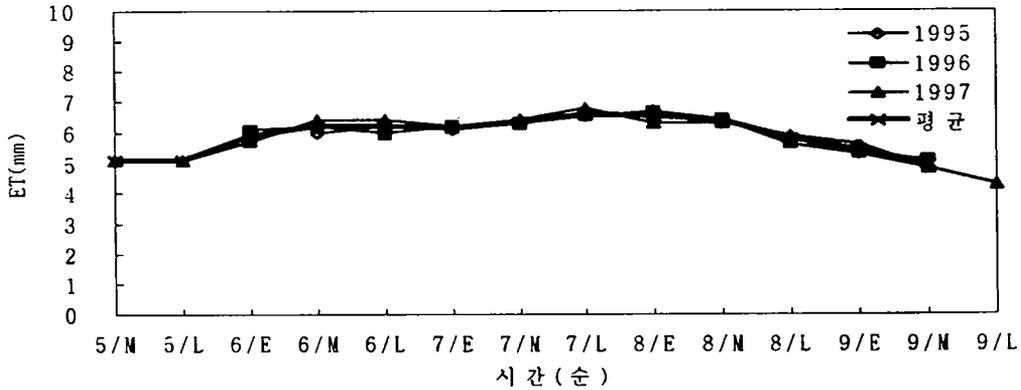
<표 4-7> 지역별 순별 평균 잠재증발산량(수정 Penman式)

(단위 : mm)

| 지역 | 년도  | 5월  |     | 6월  |     |     | 7월  |     |     | 8월  |     |     | 9월  |     |     | 평균  |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|    |     | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   |     |
| 수원 | '95 | -   | -   | -   | 5.0 | 4.5 | 4.2 | 3.5 | 5.6 | 4.5 | 4.8 | 3.3 | 3.2 | 3.9 | -   | 4.3 |
|    | '96 | -   | -   | 4.8 | 3.9 | 3.4 | 5.2 | 3.9 | 4.1 | 4.9 | 5.5 | 3.2 | 4.1 | 3.7 | -   | 4.2 |
|    | '97 | 4.0 | 4.2 | 5.2 | 5.9 | 4.7 | 3.7 | 4.6 | 5.6 | 4.5 | 5.7 | 4.5 | 4.2 | 3.9 | 3.4 | 4.6 |
| 대구 | '95 | -   | -   | 5.5 | 5.3 | 5.5 | 4.3 | 5.1 | 5.8 | 6.8 | 5.7 | 3.8 | 3.6 | -   | -   | 5.1 |
|    | '96 | -   | 5.7 | 5.0 | 4.6 | 3.6 | 2.6 | 4.9 | 6.2 | 6.3 | 6.3 | 3.6 | 4.1 | 4.1 | -   | 4.8 |
|    | '97 | -   | 4.7 | 5.0 | 6.2 | 5.0 | 4.1 | 4.6 | 5.8 | 4.5 | 3.5 | 5.3 | 4.8 | 3.7 | -   | 4.8 |



<그림 4-8(a)> 수정 Penman공식에 의한 순별 평균 잠재증발산량(수원)



<그림 4-8(b)> 수정 Penman공식에 의한 순별 평균 잠재증발산량(대구)

## 2) Blaney-Criddle 공식에 의한 잠재증발산량의 산정

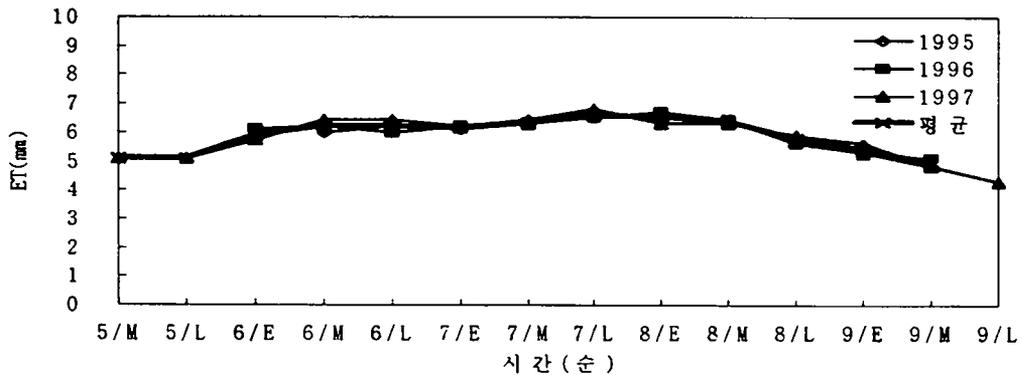
수원지방에서의 Blaney-Criddle공식에 의한 잠재증발산량은 <표 4-8>과 <그림 4-9(a)>에서 보는 바와 같이 '95년도에서부터 '97년도까지 5.8~6.0mm의 값을 나타내어 수정 Penman공식에 비하여 1.5mm 정도 크게 산정됨을 알 수 있으며 순별 변화량도 수정 Penman공식에 비하여 작게 나타나 수정 Penman공식이 기상 조건의 변화를 Blaney-Criddle공식에 비하여 민감하게 반영하고 있음을 알 수 있다.

대구지방에서의 Blaney-Criddle식을 사용한 잠재증발산량은 <표 4-8>과 <그림 4-9(b)>에서 보는 바와 같이 1995년부터 1997년 사이에 6.2mm, 1996년에는 6.0 mm, 및 1997년에는 6.0 mm로 계산되었으며, 수원지방에 비하여 0.2mm정도 크게 계산되어, Penman공식에 비하여 작은 차이를 나타냈으며, 이는 Blaney-Criddle공식이 고려하는 기상인자가 단지 기온만을 사용하며, 순평균값을 계산하는 평균화 효과 때문으로 사료된다.

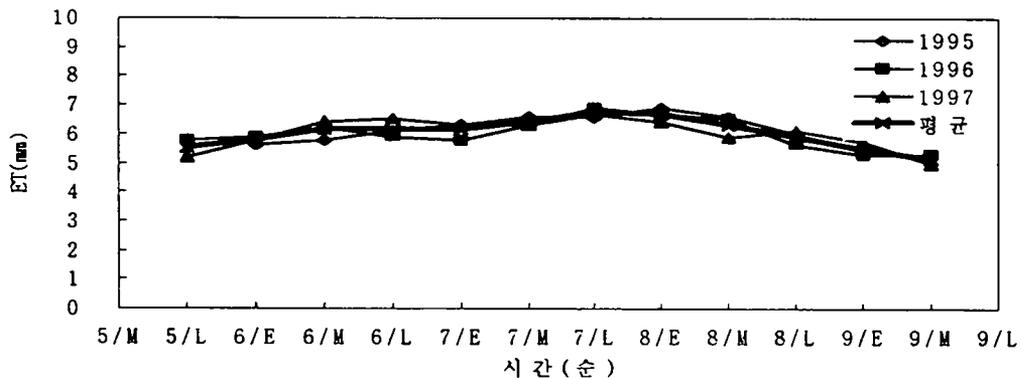
<표 4-8> 지역별 순별 평균 잠재증발산량(Blaney-Criddle식)

(단위 : mm)

| 지역 | 년도  | 5월  |     | 6월  |     | 7월  |     | 8월  |     | 9월  |     | 평균  |     |     |     |     |
|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|    |     | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   | 하   | 상   | 중   |     | 하   |     |     |     |
| 수원 | '95 | -   | -   | -   | 6.0 | 6.2 | 6.1 | 6.3 | 6.5 | 6.4 | 5.8 | 5.3 | 4.8 | -   | 6.0 |     |
|    | '96 | -   | -   | 6.1 | 6.2 | 6.0 | 6.2 | 6.3 | 6.5 | 6.7 | 6.4 | 5.6 | 5.3 | 5.1 | -   | 6.0 |
|    | '97 | 5.1 | 5.1 | 5.7 | 6.4 | 6.4 | 6.2 | 6.4 | 6.8 | 6.3 | 6.3 | 5.9 | 5.6 | 4.8 | 4.3 | 5.8 |
| 대구 | '95 | -   | -   | 5.6 | 5.8 | 6.1 | 6.3 | 6.6 | 6.6 | 6.9 | 6.6 | 6.0 | 5.4 | -   | -   | 6.2 |
|    | '96 | -   | 5.8 | 5.9 | 6.2 | 5.9 | 5.8 | 6.3 | 6.9 | 6.7 | 6.5 | 5.6 | 5.3 | 5.3 | -   | 6.0 |
|    | '97 | -   | 5.2 | 5.8 | 6.4 | 6.5 | 6.3 | 6.3 | 6.7 | 6.4 | 5.9 | 6.1 | 5.7 | 5.0 | -   | 6.0 |



<그림 4-9(a)> Blaney-Criddle 공식에 의한 순별 평균 잠재증발산량(수원)



<그림 4-9(b)> Blaney-Criddle 공식에 의한 순별 평균 잠재증발산량(대구)

## 다. 작물계수

### 1) 수정 Penman공식의 작물계수

수정 Penman공식에 의한 생육기간 동안의 연도별 평균 작물계수를 살펴보면 다음과 같다.

수원 지방에서는 <표 4-9(a)>과 <그림 4-10(a~c)>에서 보는 바와 같이 조·중·만생종 품종별로 '95년도에는 1.31, 1.41, 1.36 이며, '96년도에는 1.14, 1.39, 1.30 이었고, '97년도에는 1.08, 1.06, 1.09 로 나타났다.

또한 대구 지방에서는 <표 4-9(b)>과 <그림 4-10(d~f)>에서 보는 바와 같이 조·중·만생종 품종별로 '95년도에는 1.15, 1.20, 1.17 이었으며, '96년도에는 1.06, 1.10, 1.06 이었으며, '97년도에는 1.05, 1.07, 1.08로 나타났다.

수원지방에서의 작물계수를 살펴보면 '97년도를 제외하고는 1.3 내외의 값을 나타내고 있으나 '97년도에서 1.08의 값을 나타내어 '95, '96년도에 비하여 작은 값을 나타내고 있는 바, 이는 5월 중·하순의 작은 작물계수 값이 평균값에 포함되어 계산된 이유로 사료된다. 또한 기상변화에 따라 '97년도의 9월 상·중순의 작물계수가 '95, '96년도의 작물계수보다 크게 산정되고 있어 '97년도의 기상조건에 대한 고려가 필요할 것으로 사려된다. 특히 8월 하순의 값은 1.27~2.18사이의 값을 나타내어 3년 동안 가장 큰 작물계수값을 나타내었다.

<표 4-9(a)> 지역별 순별 작물계수(수정 Penman식, 수원)

| 구분   | 년도  | 5월   |      | 6월   |      | 7월   |      |      | 8월   |      |      | 9월   |      |      | 평균   |      |
|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      |     | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    |      | 하    |
| 조생종  | '95 | -    | -    | -    | 0.86 | 0.98 | 1.05 | 1.51 | -    | -    | 1.27 | 1.94 | 1.56 | -    | -    | 1.31 |
|      | '96 | -    | -    | 0.56 | 1.10 | 1.15 | 1.21 | 1.15 | 1.00 | 1.24 | 1.29 | 1.59 | 1.12 | 1.14 | -    | 1.14 |
|      | '97 | 0.54 | 0.62 | 0.66 | 0.82 | 0.67 | 0.78 | 1.35 | 1.31 | 1.23 | 1.69 | 1.27 | 1.37 | 1.69 | -    | 1.08 |
|      | 평균  | 0.54 | 0.64 | 0.61 | 0.93 | 0.93 | 1.01 | 1.34 | 1.16 | 1.24 | 1.42 | 1.60 | 1.35 | 1.41 | -    | 1.09 |
| 중생종  | '95 | -    | -    | -    | 1.00 | 1.27 | 1.21 | 1.31 | -    | -    | 1.27 | 2.18 | 1.63 | -    | -    | 1.41 |
|      | '96 | -    | -    | 0.73 | 1.26 | 1.47 | 1.23 | 1.44 | 1.27 | 1.45 | 1.44 | 1.94 | 1.46 | 1.62 | -    | 1.39 |
|      | '97 | 0.56 | 0.69 | 0.60 | 0.81 | 0.62 | 0.60 | 1.03 | 1.33 | 1.13 | 1.71 | 1.35 | 1.60 | 1.76 | -    | 1.06 |
|      | 평균  | 0.56 | 0.69 | 0.66 | 1.02 | 1.12 | 1.02 | 1.26 | 1.30 | 1.29 | 1.47 | 1.82 | 1.56 | 1.69 | -    | 1.19 |
| 만생종  | '95 | -    | -    | -    | 0.78 | 1.02 | 1.36 | 1.54 | -    | -    | 1.06 | 2.06 | 1.69 | -    | -    | 1.36 |
|      | '96 | -    | -    | 0.75 | 1.18 | 1.18 | 1.19 | 1.49 | 1.39 | 1.35 | 1.44 | 1.81 | 1.15 | 1.38 | -    | 1.30 |
|      | '97 | 0.58 | 0.51 | 0.62 | 0.82 | 0.62 | 0.68 | 0.99 | 1.31 | 1.29 | 1.53 | 1.62 | 1.59 | 1.76 | 1.37 | 1.09 |
|      | 평균  | 0.58 | 0.51 | 0.69 | 0.93 | 0.94 | 1.08 | 1.34 | 1.35 | 1.32 | 1.34 | 1.83 | 1.47 | 1.57 | 1.37 | 1.16 |
| 전체평균 |     | 0.56 | 0.61 | 0.65 | 0.96 | 1.00 | 1.03 | 1.31 | 1.27 | 1.28 | 1.41 | 1.75 | 1.46 | 1.56 | 1.37 | 1.15 |

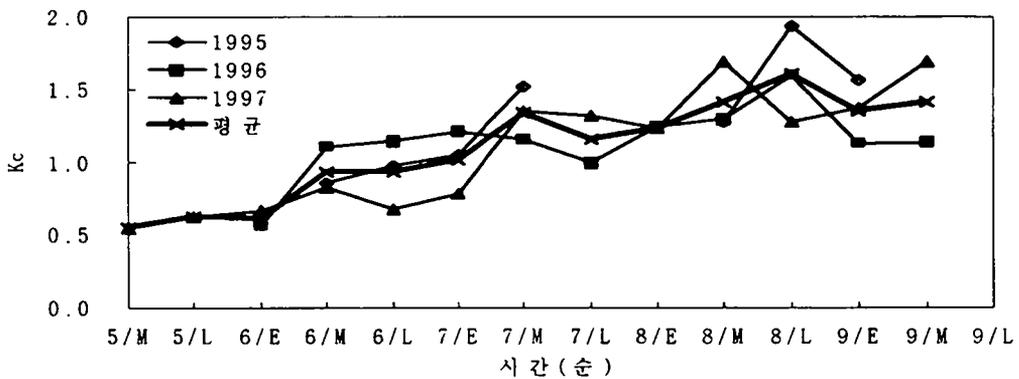
대구지방에서의 작물계수는 시험기간 3년동안 1.05~1.20 사이의 값으로 고른 분포를 보여주고 있으며, 수원지방과 같이 8월 하순의 값은 1.23~1.46사이의 값을 나타내어 3개년 동안 가장 큰 작물계수값을 나타내었다.

대구지방에서는 1997년도의 수정 Penman공식에 의한 생육기간동안의 평균 작물계수는 조생종, 중생종, 만생종에 대하여 각각 1.05, 1.07, 1.08로 나타났다. 이는 1995년도의 작물계수보다 작으며 1996년도의 값보다 조금 작은 값이다. 실측 증발산량에서 설명한대로 1995년에 비해 1996년과 1997년에 평균 작물계수 값이 작아진 이유는 첫째, 1996년과 1997년에는 관측기간이 증발산량 값이 작은 5월 하순과 9월 중순이 포함되었으며, 둘째, 1995년에 비해 기온, 풍속, 일조시간 및

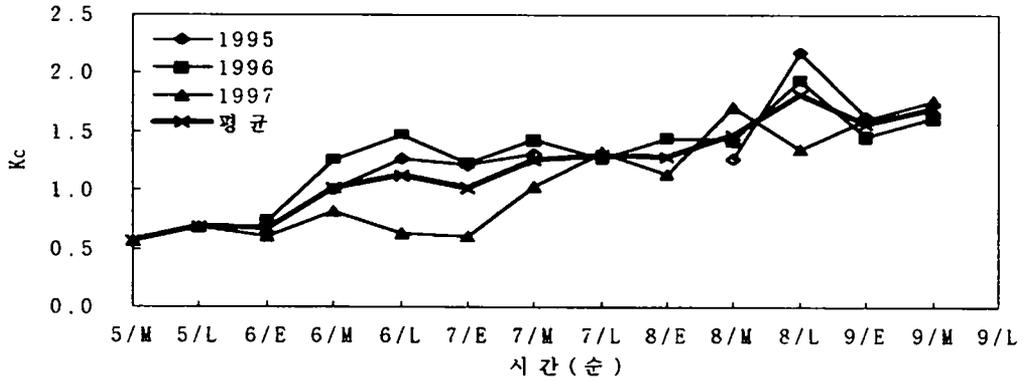
일사량이 적은 것에 기인한 것으로 사료된다.

<표 4-9(b)> 지역별 순별 작물계수(수정 Penman식, 대구)

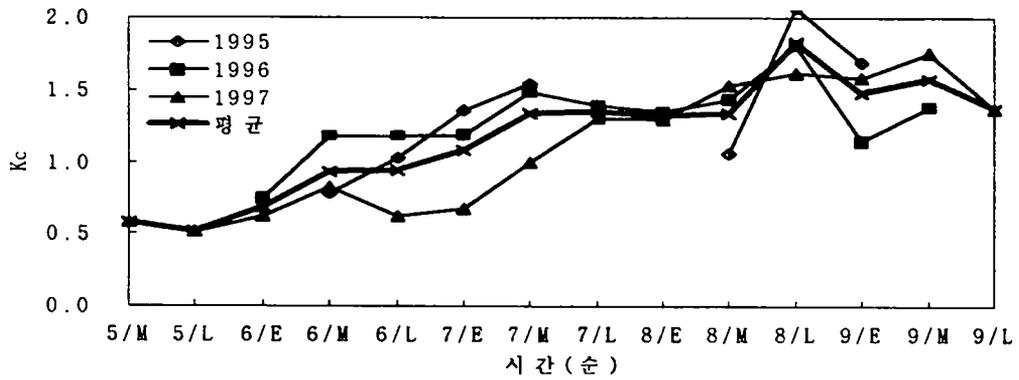
| 구 분  | 년도  | 5월 |      | 6월   |      |      | 7월   |      |      | 8월   |      |      | 9월   |      | 평균 |      |
|------|-----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|------|
|      |     | 중  | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    |    | 하    |
| 조생종  | '95 | -  | -    | 0.96 | 0.92 | 0.93 | 1.07 | 1.45 | 1.12 | 1.22 | 1.37 | 1.26 | 1.22 | -    | -  | 1.15 |
|      | '96 | -  | 0.68 | 0.74 | 0.74 | 0.92 | 1.69 | 0.94 | 1.18 | -    | 1.14 | 1.31 | 1.32 | 1.05 | -  | 1.06 |
|      | '97 | -  | 0.96 | 0.82 | 0.89 | 0.86 | 0.95 | 1.07 | 1.26 | 1.13 | 1.09 | 1.21 | 1.19 | 1.22 | -  | 1.05 |
|      | 평균  | -  | 0.82 | 0.84 | 0.85 | 0.90 | 1.24 | 1.15 | 1.19 | 1.18 | 1.20 | 1.26 | 1.24 | 1.13 | -  | 1.08 |
| 중생종  | '95 | -  | -    | 0.96 | 0.92 | 0.95 | 1.07 | 1.59 | 1.19 | 1.22 | 1.44 | 1.32 | 1.33 | -    | -  | 1.20 |
|      | '96 | -  | 0.68 | 0.74 | 0.72 | 0.89 | 1.62 | 0.98 | 1.31 | -    | 1.27 | 1.42 | 1.44 | 1.05 | -  | 1.10 |
|      | '97 | -  | 0.96 | 0.82 | 0.89 | 0.90 | 1.05 | 1.04 | 1.33 | 1.16 | 1.14 | 1.21 | 1.21 | 1.19 | -  | 1.07 |
|      | 평균  | -  | 0.82 | 0.84 | 0.84 | 0.91 | 1.24 | 1.20 | 1.27 | 1.19 | 1.28 | 1.31 | 1.33 | 1.12 | -  | 1.11 |
| 만생종  | '95 | -  | -    | 0.93 | 0.91 | 0.91 | 1.12 | 1.51 | 1.16 | 1.28 | 1.40 | 1.32 | 1.19 | -    | -  | 1.17 |
|      | '96 | -  | 0.68 | 0.74 | 0.72 | 0.89 | 1.58 | 0.88 | 1.19 | -    | 1.17 | 1.36 | 1.39 | 1.02 | -  | 1.06 |
|      | '97 | -  | 0.96 | 0.82 | 0.89 | 0.88 | 1.00 | 1.09 | 1.29 | 1.18 | 1.17 | 1.23 | 1.23 | 1.27 | -  | 1.08 |
|      | 평균  | -  | 0.82 | 0.83 | 0.84 | 0.89 | 1.23 | 1.16 | 1.21 | 1.23 | 1.25 | 1.30 | 1.27 | 1.15 | -  | 1.10 |
| 전체평균 |     | -  | 0.82 | 0.84 | 0.84 | 0.90 | 1.24 | 1.17 | 1.22 | 1.20 | 1.24 | 1.29 | 1.28 | 1.13 | -  | 1.10 |



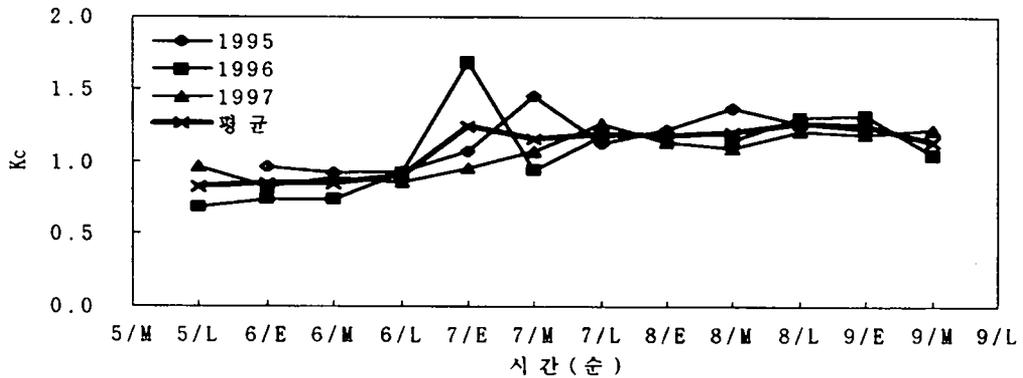
<그림 4-10(a)> 수정 Penman式에 의한 품종별 순별 작물계수(조생종, 수원)



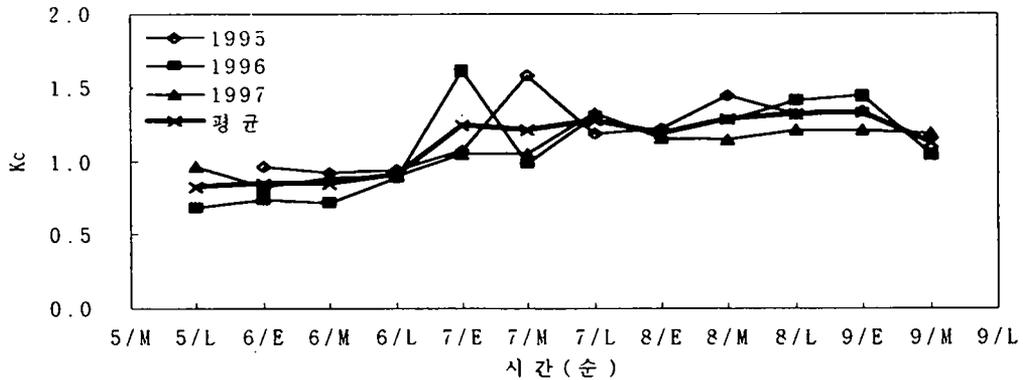
<그림 4-10(b)> 수정 Penman式에 의한 품종별 순별 작물계수(중생종, 수원)



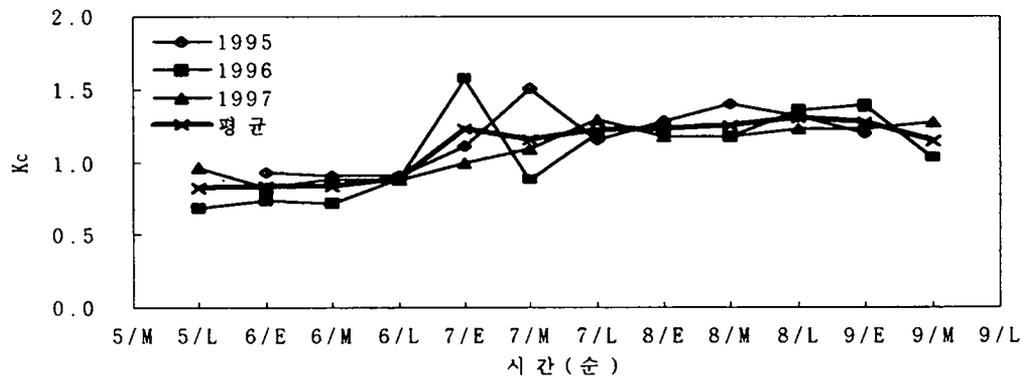
<그림4-10(c)> 수정 Penman式에 의한 품종별 순별 작물계수(만생종, 수원)



<그림 4-10(d)> 수정 Penman式에 의한 품종별 순별 작물계수(조생종, 대구)



<그림 4-10(e)> 수정 Penman式에 의한 품종별 순별 작물계수(중생종, 대구)



<그림 4-10(f)> 수정 Penman式에 의한 품종별 순별 작물계수(만생종, 대구)

## 2) 수정 Blaney-Criddle공식의 작물계수

Blaney-Criddle 공식에 의한 생육기간 동안의 평균 작물계수를 살펴 보면 다음과 같다.

수원지방에서는 <표 4-10(a)>와 <그림 4-11(a~c)>에서 보는 바와 같이 조·중·만생종별로 작물계수는 '95년도에는 0.86, 0.93, 0.88이었고, '96년도에는 0.80, 0.97, 0.90 이었고, '97년도에는 0.85, 0.84, 0.86 으로 나타나 0.80~0.97 사이의 값을 나타냈으며, 수정 Penman공식에 비하여 0.3 정도 작은 값을 나타내었다.

<표 4-10(a)> 지역별 순별 작물계수(Blaney-Criddle식, 수원)

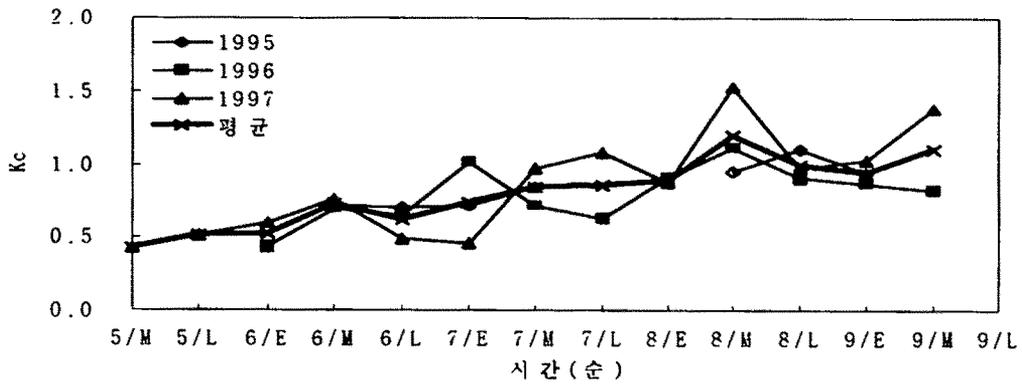
| 구 분  | 년도  | 5월   |      | 6월   |      |      | 7월   |      |      | 8월   |      |      | 9월   |      |      | 평균   |
|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|      |     | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    |      |
| 조생종  | '95 | -    | -    | -    | 0.72 | 0.71 | 0.72 | 0.84 | -    | -    | 0.95 | 1.10 | 0.94 | -    | -    | 0.86 |
|      | '96 | -    | -    | 0.44 | 0.69 | 0.65 | 1.02 | 0.71 | 0.63 | 0.91 | 1.11 | 0.91 | 0.87 | 0.82 | -    | 0.80 |
|      | '97 | 0.43 | 0.51 | 0.60 | 0.76 | 0.49 | 0.46 | 0.97 | 1.08 | 0.88 | 1.53 | 0.97 | 1.03 | 1.38 | -    | 0.85 |
|      | 평균  | 0.43 | 0.51 | 0.52 | 0.72 | 0.62 | 0.73 | 0.84 | 0.86 | 0.89 | 1.20 | 0.99 | 0.95 | 1.10 | -    | 0.80 |
| 중생종  | '95 | -    | -    | -    | 0.83 | 0.92 | 0.84 | 0.73 | -    | -    | 0.95 | 1.24 | 0.98 | -    | -    | 0.93 |
|      | '96 | -    | -    | 0.57 | 0.79 | 0.83 | 1.03 | 0.89 | 0.80 | 1.06 | 1.23 | 1.11 | 1.13 | 1.18 | -    | 0.97 |
|      | '97 | 0.43 | 0.57 | 0.55 | 0.75 | 0.46 | 0.36 | 0.74 | 1.09 | 0.81 | 1.55 | 1.03 | 1.20 | 1.43 | -    | 0.84 |
|      | 평균  | 0.44 | 0.57 | 0.56 | 0.79 | 0.74 | 0.74 | 0.79 | 0.95 | 0.93 | 1.24 | 1.13 | 1.10 | 1.30 | -    | 0.87 |
| 만생종  | '95 | -    | -    | -    | 0.65 | 0.74 | 0.93 | 0.86 | -    | -    | 0.80 | 1.17 | 1.02 | -    | -    | 0.88 |
|      | '96 | -    | -    | 0.59 | 0.74 | 0.67 | 1.00 | 0.92 | 0.88 | 0.99 | 1.23 | 1.04 | 0.89 | 1.00 | -    | 0.90 |
|      | '97 | 0.46 | 0.42 | 0.57 | 0.76 | 0.45 | 0.40 | 0.71 | 1.08 | 0.92 | 1.38 | 1.23 | 1.19 | 1.43 | 1.08 | 0.86 |
|      | 평균  | 0.46 | 0.42 | 0.57 | 0.76 | 0.45 | 0.40 | 0.71 | 1.08 | 0.92 | 1.38 | 1.23 | 1.19 | 1.43 | 1.08 | 0.86 |
| 전체평균 |     | 0.44 | 0.50 | 0.55 | 0.74 | 0.66 | 0.75 | 0.82 | 0.93 | 0.93 | 1.19 | 1.09 | 1.03 | 1.21 | 1.08 | 0.84 |

대구지방에서는 <표 4-10(b)>와 <그림 4-11(d~f)>에서 보는 바와 같이 Blaney-Criddle 공식에 의한 생육기간 동안의 평균 작물계수는 0.79~0.98사이의 값을 나타내어 수정 Penman공식의 작물계수에 비하여 0.2 정도 작은 값을 나타내었다. 품종별 작물계수는 큰 차이를 보이지는 않았으나 조생종에 비하여 중생종과 만생종이 조금 큰 작물계수 값을 나타내었다. 이는 1995년도의 작물계수보다는 작으며 1996년도의 값보다는 큰 값이다. 이는 수정 Penman공식에 의한 작물계수와는 다른 경향을 나타내는 것으로 Blaney-Criddle 공식이 일반적으로 수정 Penman

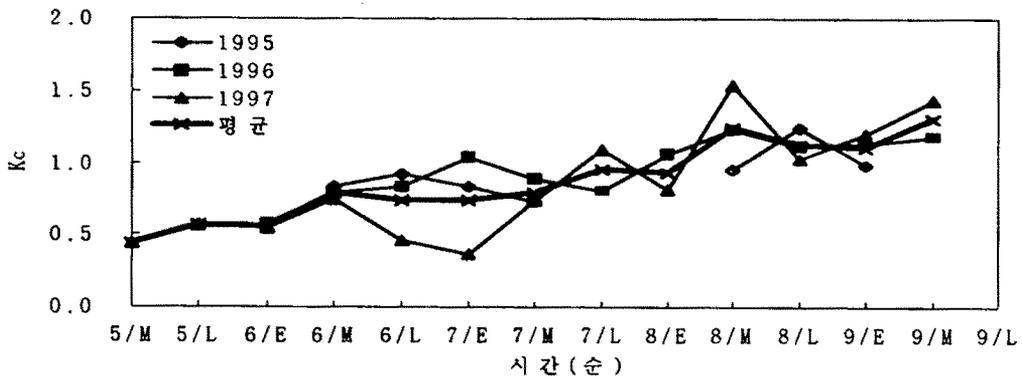
공식보다 기상조건에 덜 민감한 것으로 사료된다.

<표 4-10(b)> 지역별 순별 작물계수(Blaney-Criddle식, 대구)

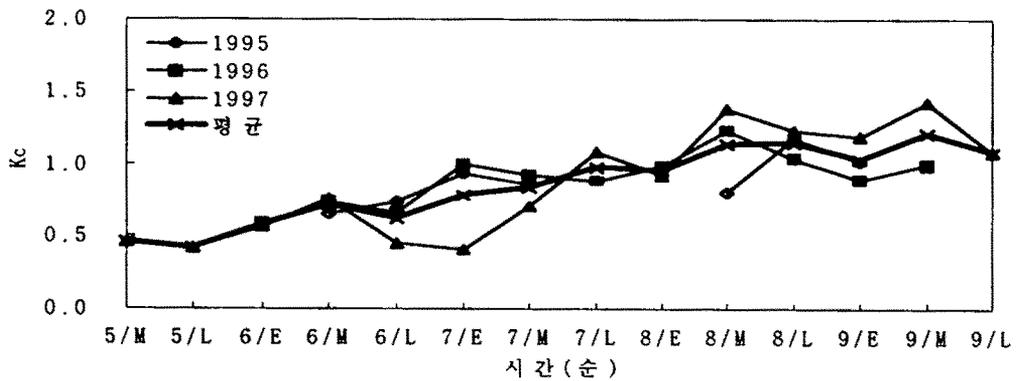
| 구분   | 년도  | 5월 |      | 6월   |      |      | 7월   |      |      | 8월   |      |      | 9월   |      |   | 평균   |
|------|-----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|------|
|      |     | 중  | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하 |      |
| 조생종  | '95 | -  | -    | 0.95 | 0.84 | 0.84 | 0.73 | 1.12 | 0.98 | 1.20 | 1.18 | 0.80 | 0.82 | -    | - | 0.95 |
|      | '96 | -  | 0.67 | 0.63 | 0.55 | 0.56 | 0.76 | 0.73 | 1.06 | -    | 1.11 | 0.84 | 1.02 | 0.81 | - | 0.79 |
|      | '97 | -  | 0.87 | 0.71 | 0.86 | 0.66 | 0.62 | 0.78 | 1.09 | 0.80 | 0.64 | 1.05 | 1.00 | 0.90 | - | 0.83 |
|      | 평균  | -  | 0.77 | 0.76 | 0.75 | 0.69 | 0.70 | 0.88 | 1.04 | 1.00 | 0.98 | 0.90 | 0.94 | 0.86 | - | 0.86 |
| 중생종  | '95 | -  | -    | 0.95 | 0.84 | 0.85 | 0.73 | 1.23 | 1.05 | 1.20 | 1.24 | 0.83 | 0.89 | -    | - | 0.98 |
|      | '96 | -  | 0.67 | 0.63 | 0.53 | 0.54 | 0.72 | 0.76 | 1.17 | -    | 1.23 | 0.91 | 1.11 | 0.81 | - | 0.83 |
|      | '97 | -  | 0.87 | 0.71 | 0.86 | 0.69 | 0.68 | 0.76 | 1.15 | 0.81 | 0.68 | 1.05 | 1.02 | 0.88 | - | 0.85 |
|      | 평균  | -  | 0.77 | 0.76 | 0.75 | 0.70 | 0.71 | 0.92 | 1.12 | 1.01 | 1.05 | 0.93 | 1.01 | 0.85 | - | 0.88 |
| 만생종  | '95 | -  | -    | 0.91 | 0.83 | 0.82 | 0.76 | 1.17 | 1.02 | 1.26 | 1.21 | 0.83 | 0.80 | -    | - | 0.96 |
|      | '96 | -  | 0.67 | 0.63 | 0.53 | 0.54 | 0.71 | 0.68 | 1.07 | -    | 1.14 | 0.88 | 1.08 | 0.79 | - | 0.79 |
|      | '97 | -  | 0.87 | 0.71 | 0.86 | 0.68 | 0.65 | 0.79 | 1.12 | 0.83 | 0.69 | 1.07 | 1.04 | 0.82 | - | 0.85 |
|      | 평균  | -  | 0.77 | 0.75 | 0.74 | 0.68 | 0.71 | 0.88 | 1.07 | 1.04 | 1.02 | 0.92 | 0.97 | 0.87 | - | 0.87 |
| 전체평균 |     | -  | 0.77 | 0.76 | 0.75 | 0.69 | 0.71 | 0.89 | 1.08 | 1.02 | 1.01 | 0.92 | 0.97 | 0.86 | - | 0.87 |



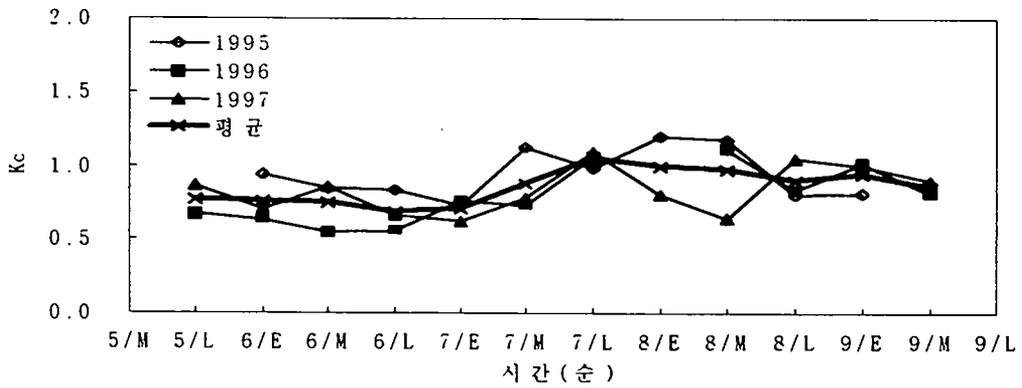
<그림 4-11(a)> Blaney-Criddle式에 의한 품종별 순별 작물계수(조생종, 수원)



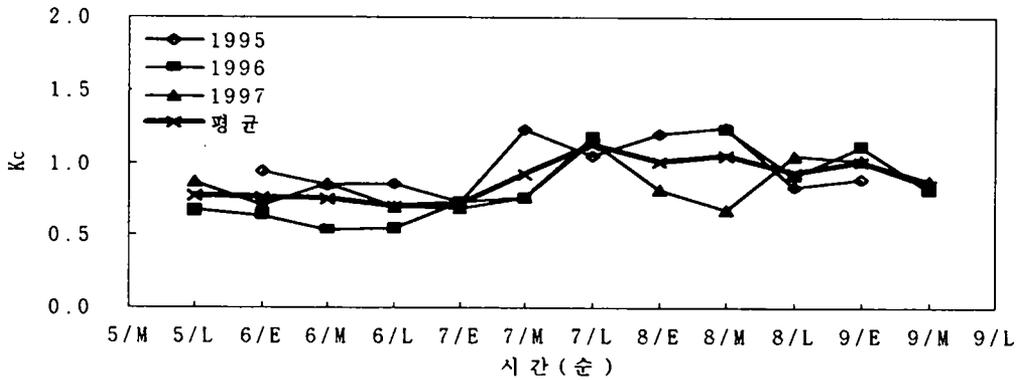
<그림 4-11(b)> Blaney-Criddle式에 의한 품종별 순별 작물계수(중생종, 수원)



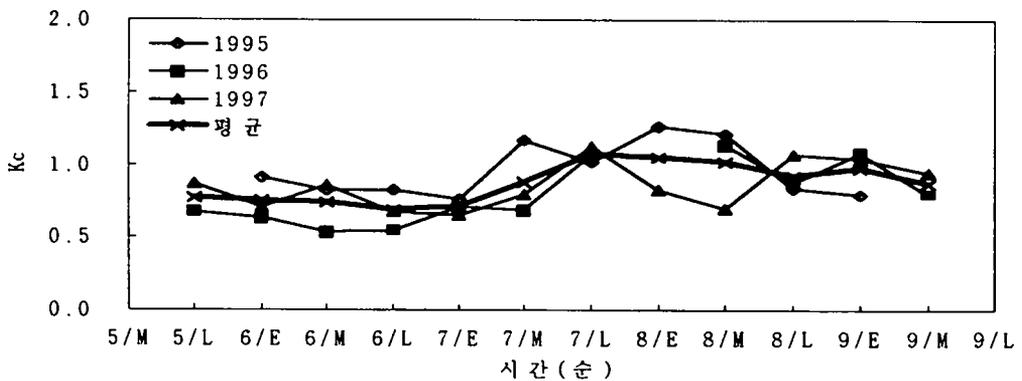
<그림 4-11(c)> Blaney-Criddle式에 의한 품종별 순별 작물계수(만생종, 수원)



<그림 4-11(d)> Blaney-Criddle式에 의한 품종별 순별 작물계수(조생종, 대구)



<그림 4-11(e)> Blaney-Criddle式에 의한 품종별 순별 작물계수(중생종, 대구)



<그림 4-11(f)> Blaney-Criddle式에 의한 품종별 순별 작물계수(만생종, 대구)

## 라. 작물계수의 검정

### 1) 실측 증발산량과의 비교

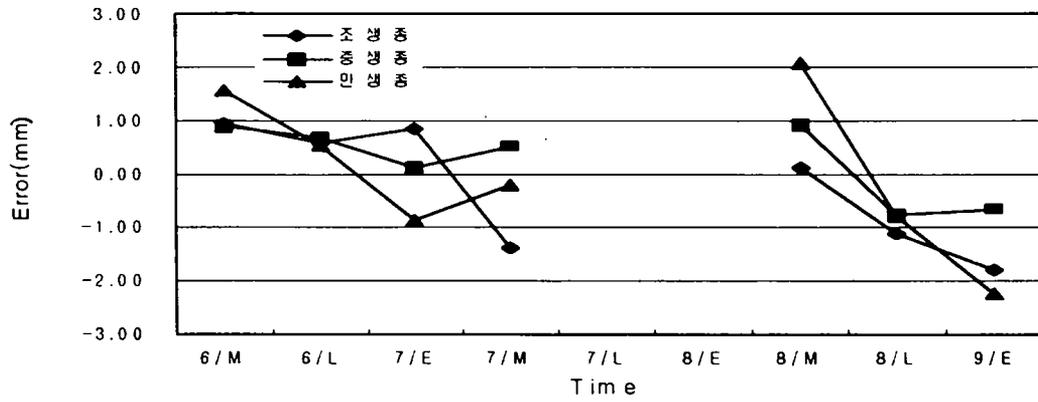
작물계수는 작물의 소비수량 산정에 있어 중요한 영향을 미치는 인자이기 때문에 산정된 작물계수와 기존에 사용중인 작물계수에 대한 비교가 필요할 것으로 사료된다. 따라서 산정된 작물계수를 사용하여 증발산량을 산정하였을때 실제 증발산량과의 차이를 알아보기 위하여 '95년에 산정된 작물계수를 이용하여 '96년도 증발산량을 계산한 후, 이를 '96년도에 측정된 증발산량과 비교하고, '96년도의 작물계수를 이용하여 '97년도의 증발산량을 계산한 후, 이를 '97년도에 측정된 증발산량과 비교하였다.

수원지방과 대구지역에 대한 작물계수를 이용하여 증발산량을 산정한 후, 실측 증발산량과 비교한 결과는 <표 4-11>과 <그림 4-12(a~d)>와 같다.

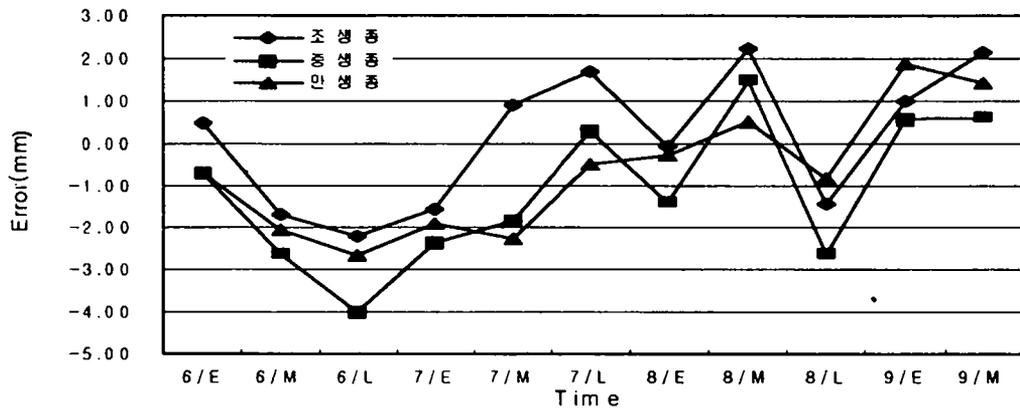
<표 4-11>은 계산된 증발산량과 실측 증발산량과의 절대적인 차이를 알아보기 위한 RMSE(Root Mean Square Error)를 산정한 결과이다. 계산 결과, RMSE는 0.70~2.01mm 사이의 값을 나타내었으며, 평균적으로 1.04~1.72mm 사이의 값을 나타내었다. <그림 4-12(a)>와 <그림 4-12(b)>는 수원지방에서 '96년도와 '97년도의 조생종, 중생종, 만생종에 대한 실측 증발산량과 계산 증발산량의 차이를 도시한 것으로 그 차이는 시기에 따라  $\pm 3\text{mm}$ 정도 나타내었다.

<표 4-11> 실측 증발산량과 계산 증발산량과의 RMSE

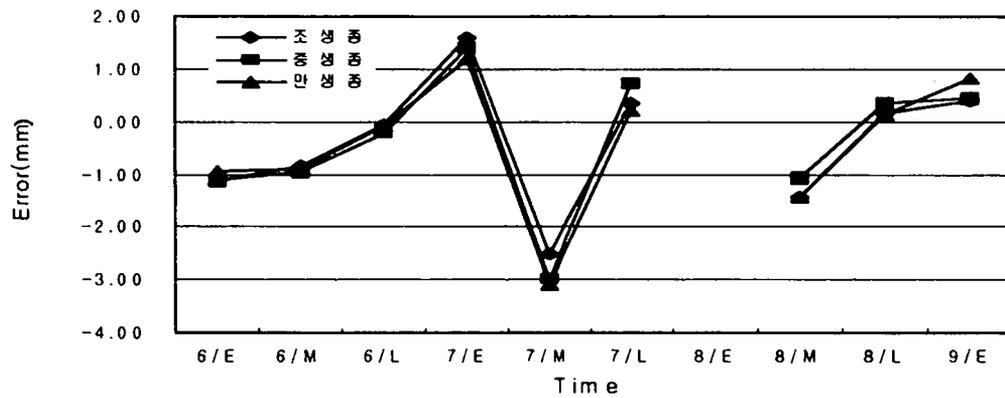
| 지역 | 년도  | RMSE(mm) |      |      | 평균   |
|----|-----|----------|------|------|------|
|    |     | 조생종      | 중생종  | 만생종  |      |
| 수원 | '96 | 1.09     | 0.70 | 1.38 | 1.06 |
|    | '97 | 1.57     | 2.01 | 1.57 | 1.72 |
| 대구 | '96 | 1.21     | 1.29 | 1.31 | 1.27 |
|    | '97 | 1.11     | 1.02 | 1.00 | 1.04 |



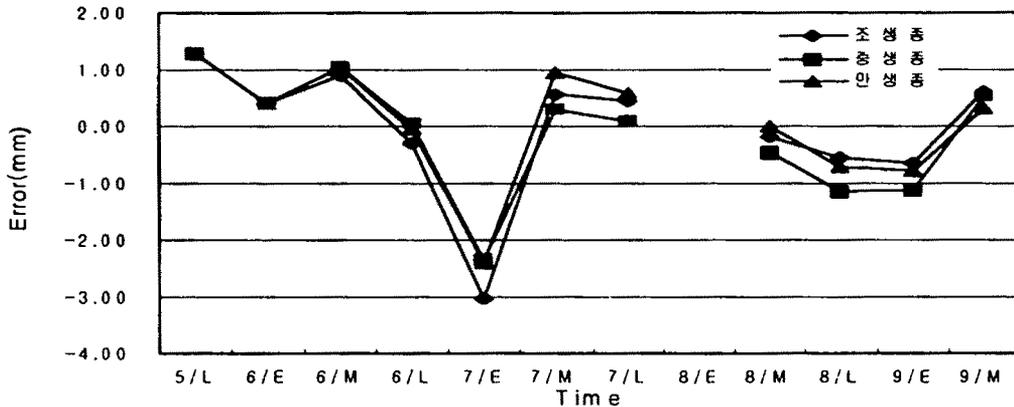
<그림 4-12(a)> '96년도 실측 증발산량과 계산 증발산량의 차이(수원)



<그림 4-12(b)> '97년도 실측 증발산량과 계산 증발산량의 차이(수원)



<그림 4-12(c)> '96년도 실측 증발산량과 계산 증발산량의 차이(대구)



<그림 4-12(d)> '97년도 실측 증발산량과 계산 증발산량의 차이(대구)

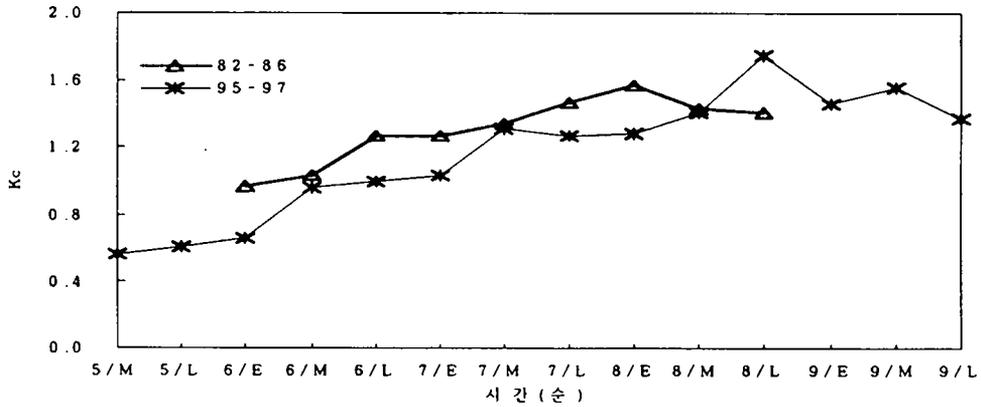
## 2) 기존의 작물계수와와의 비교

본 연구에서 산정된 작물계수는 담수직파재배에 대한 작물계수이지만, 담수 후에는 이양재배와 동일한 방법으로 재배되므로 기존의 이양재배에 대한 작물계수와 비교하는 것은 정량적인 비교는 될 수 없지만 정성적인 비교는 가능할 것이다. 본 연구에서 선택한 기존의 작물계수는 1982~1986년도의 5개년에 걸쳐 측정한 전국 9개 지역중에서 본 연구대상지역과 동일한 수원과 대구지역의 작물계수를 선택하였다.

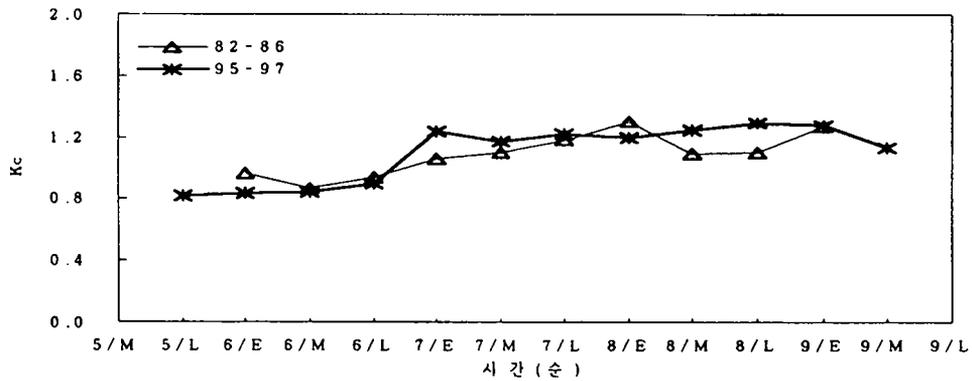
수정 Penman공식에 대한 작물계수를 비교하면 <표 4-12>에서 보는 바와 같이 수원지방에서는 '82~'86년의 작물계수는 평균 1.31이며 '95~'97년의 작물계수는 1.15로서 다소 작은 값을 나타내었으며, 대구지방에서는 '82~'86년의 작물계수는 평균 1.09이며 '95~'97년의 작물계수는 1.10로서 서로 비슷한 값을 나타내었으며, 이를 <그림 4-13(a~b)>에서 살펴보면 '95~'97년도 사이의 작물계수는 '82~'86년도의 작물계수에 비하여 초기에는 작게 나타났으며, 8~9월에 큰 값을 보였다. 이는 담수직파재배와 이양재배의 재배기간이 서로 다른 것과 '95~'97년도의 기상조건이 '82~'86년도의 조건과 서로 상이함에 기인한 것으로 사료된다.

<표 4-12> 기존 수정 Penman 공식의 작물계수와와의 비교

| 지역 | 측정기간    | 5월   |      | 6월   |      |      | 7월   |      |      | 8월   |      |      | 9월   |      | 평균   |
|----|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|    |         | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    |      |
| 수원 | '82~'86 |      |      | 0.97 | 1.03 | 1.27 | 1.27 | 1.34 | 1.47 | 1.57 | 1.43 | 1.41 |      |      | 1.31 |
|    | '95~'97 | 0.56 | 0.61 | 0.65 | 0.96 | 1.00 | 1.03 | 0.31 | 1.27 | 1.28 | 1.41 | 1.75 | 1.46 | 1.56 | 1.15 |
| 대구 | '82~'86 |      |      | 0.96 | 0.87 | 0.94 | 1.06 | 1.10 | 1.18 | 1.30 | 1.09 | 1.10 | 1.27 |      | 1.09 |
|    | '95~'97 |      | 0.82 | 0.84 | 0.84 | 0.90 | 1.24 | 1.17 | 1.22 | 1.20 | 1.24 | 1.29 | 1.28 | 1.13 | 1.10 |



<그림 4-13(a)> 수원지방 수정 Penman공식의 작물계수 비교

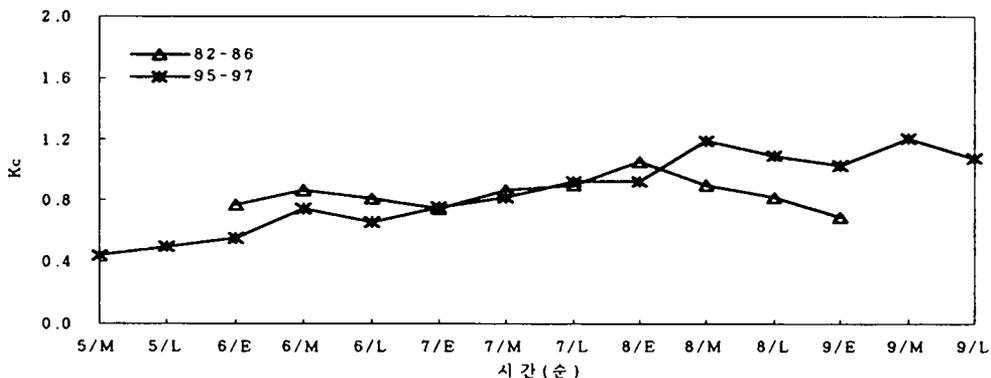


<그림 4-13(b)> 대구지방 수정 Penman공식의 작물계수 비교

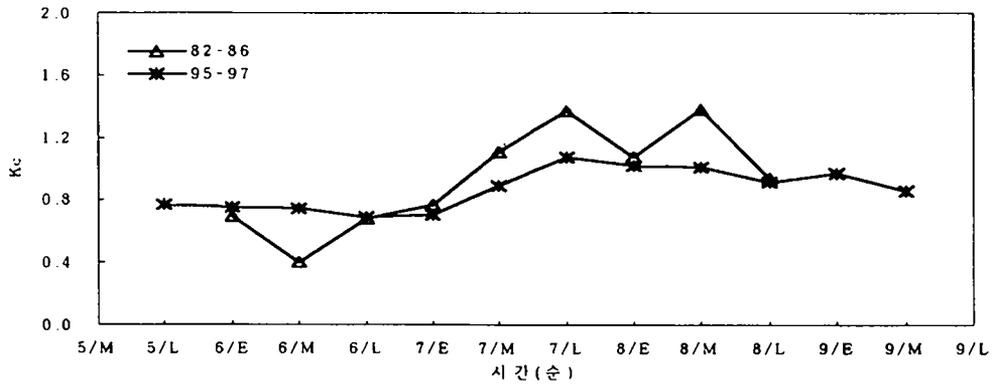
한편 Blaney-Criddle공식에 대한 작물계수를 비교하면 <표 4-13>에서 보는 바와 같이 수원지방에서는 '82~'86년의 작물계수는 평균 0.84이며 '95~'97년의 작물계수는 0.84로서 서로 같은 값을 나타내었고, 대구지방에서는 '82~'86년의 작물계수는 평균 0.94이며 '95~'97년의 작물계수는 0.87로서 다소 작은 값을 나타내었으며, 이를 <그림 4-14(a~b)>에서 살펴보면 수원지방에서는 수정 Penman공식에서 나타난 바와 같이 '95~'97년도 사이의 작물계수는 '82~'86년도의 작물계수에 비하여 재배 초기에는 작게 나타났으며, 8~9월에 큰 값을 보였으나, 대구지방에서는 전체적으로 '82~'86년도의 결과보다 작게 산정되었다.

<표 4-13> 기존 Blaney-Criddle 공식의 작물계수와의 비교

| 지역 | 측정기간    | 5월   |      | 6월   |      |      | 7월   |      |      | 8월   |      | 9월   |      | 평균   |      |
|----|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|    |         | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    |      | 중    |
| 수원 | '82~'86 |      |      | 0.77 | 0.87 | 0.81 | 0.75 | 0.87 | 0.90 | 1.05 | 0.90 | 0.82 | 0.69 |      | 0.84 |
|    | '95~'97 | 0.44 | 0.50 | 0.55 | 0.74 | 0.66 | 0.75 | 0.82 | 0.93 | 0.93 | 1.19 | 1.09 | 1.03 | 1.21 | 0.84 |
| 대구 | '82~'86 |      |      | 0.70 | 0.40 | 0.68 | 0.77 | 1.11 | 1.37 | 1.08 | 1.38 | 0.94 |      |      | 0.94 |
|    | '95~'97 |      | 0.77 | 0.76 | 0.75 | 0.69 | 0.71 | 0.89 | 1.08 | 1.02 | 1.01 | 0.92 | 0.97 | 0.86 | 0.87 |



<그림4-14(a)> 수원지방 Blaney-Criddle공식의 작물계수 비교



<그림 4-14(b)> 대구지방 Blaney-Criddle공식의 작물계수 비교

## 4.2 포장용수량 시험

### 4.2.1 시험의 목적

직파재배는 이앙재배와는 달리 재배기간 및 초기 물관리방식이 전혀 다르므로 수원공에서 공급해 주어야 할 수량도 변하게 된다. 직파재배에서도 건답직파와 담수직파는 파종 방법이 서로 다르고 물 소비정도나 토양수분의 유지수준 등도 서로 상이하므로 실제 포장에서의 관개수량을 측정하여 각 재배방식별로 용수 수요가 어떻게 다른지 파악할 필요가 있다. 재배방식별 용수수요 정도를 파악함으로써 각 방식에 따른 적정 물관리 방안을 수립할 수 있으며 향후 이를 고려한 수리시설물의 설계기준을 제시할 수 있기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 3개년에 걸쳐 실제 포장을 선정하고 재배방식별 관개수량을 측정하였다. 1995년도에는 경기도 평택에 위치한 농가의 담수직파 포장에서 실시되었고, 1996년도와 1997년도에는 경기도 농촌진흥원 시험포장에서 실시되었으며, 재배방식별 용수량을 산정하기 위하여 기초자료를 수집하고 관개량의 조사방법과 계산방법도 정립하였다.

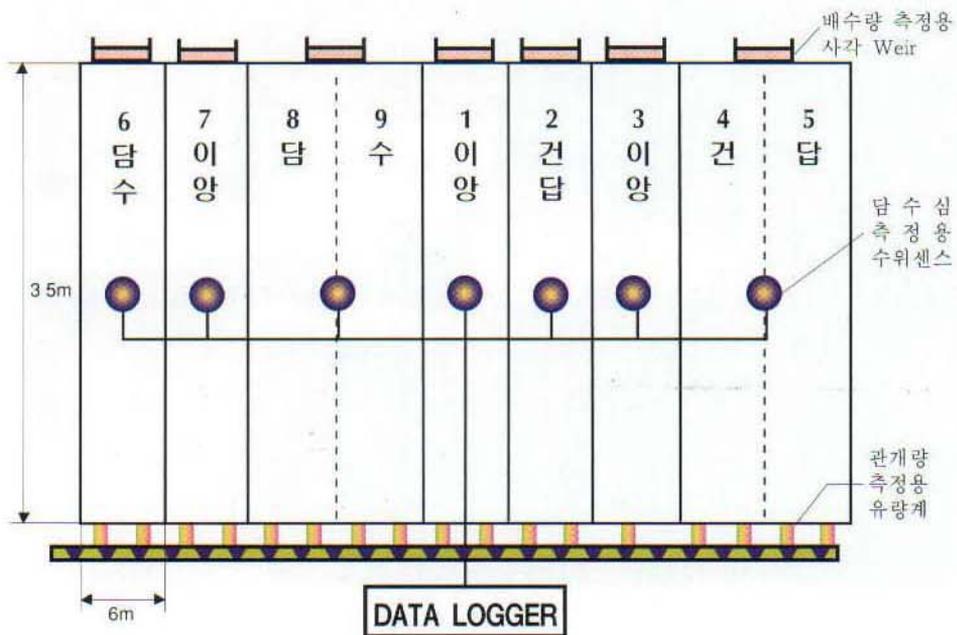
### 4.2.2 시험포장

#### 가. 시험포장의 배치

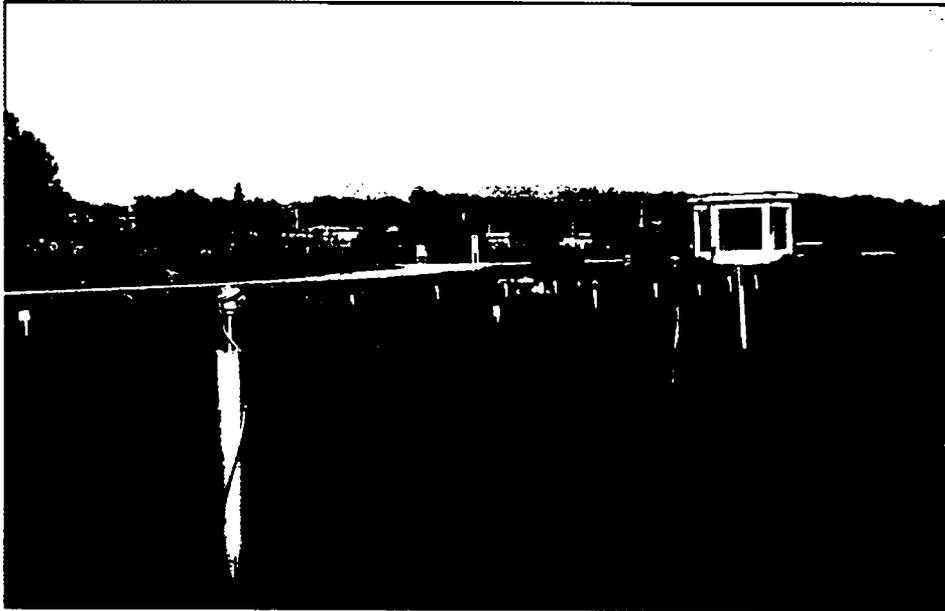
본 시험을 위한 '96년도와 '97년도의 시험포장은 경기도 화성군 태안면에 위치한 경기도 농촌진흥원 내의 답포장 일부에 설치되었다. 이는 경기도 농촌진흥원에서도 직파재배 특성시험을 하고 있으므로 동 시험포에 포장용수량 시험에 필요한 측정장치만 설치하면 작물 재배에 따른 어려움을 해소하면서 필요한 자료를 쉽게 얻을 수 있기 때문이다. 또한 기상 측정시설이 설치되어 있어 기상자료의 획득과 소비수량의 분석이 용이하다. 본 시험 포장의 전경은 <그림 4-15>와 같으며 각 재배방식별 시험포구 및 측정장치는 <그림 4-16>과 같이 배치하였다.



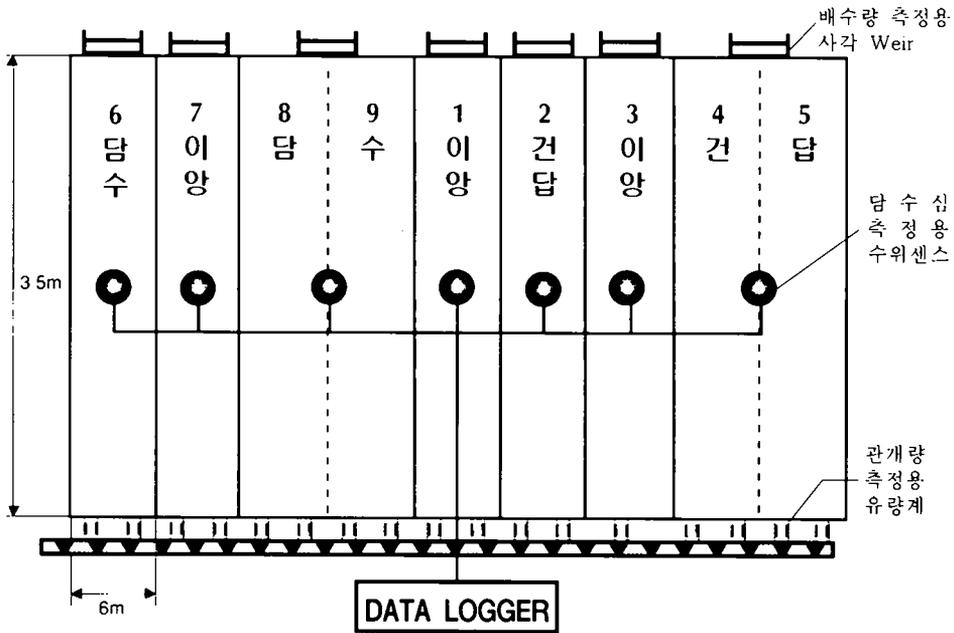
〈그림 4-15〉 시험포장의 전경(경기도 농촌진흥원)



〈그림 4-16〉 시험포장의 배치



〈그림 4-15〉 시험포장의 전경(경기도 농촌진흥원)



〈그림 4-16〉 시험포장의 배치

## 나. 측정장치의 설치

용수량을 산정하기 위해서는 포장에서의 물수지를 파악할 수 있는 각종 측정기구의 설치가 필요하다. 본 시험에서는 유량계, 배수량 측정용 사각 웨어, 담수심 측정용 센서와 자료 수집장치가 설치되어 운영되었다. 각 측정기구에 대해 살펴보면 다음과 같다.

### 1) 관개량 측정

시험포장의 관개는 직경 25mm의 PVC 파이프 라인을 이용하여 공급하였으며, 각 시험구마다 <그림 4-17>과 같이 유량계를 설치하여 관개량을 측정하였다.



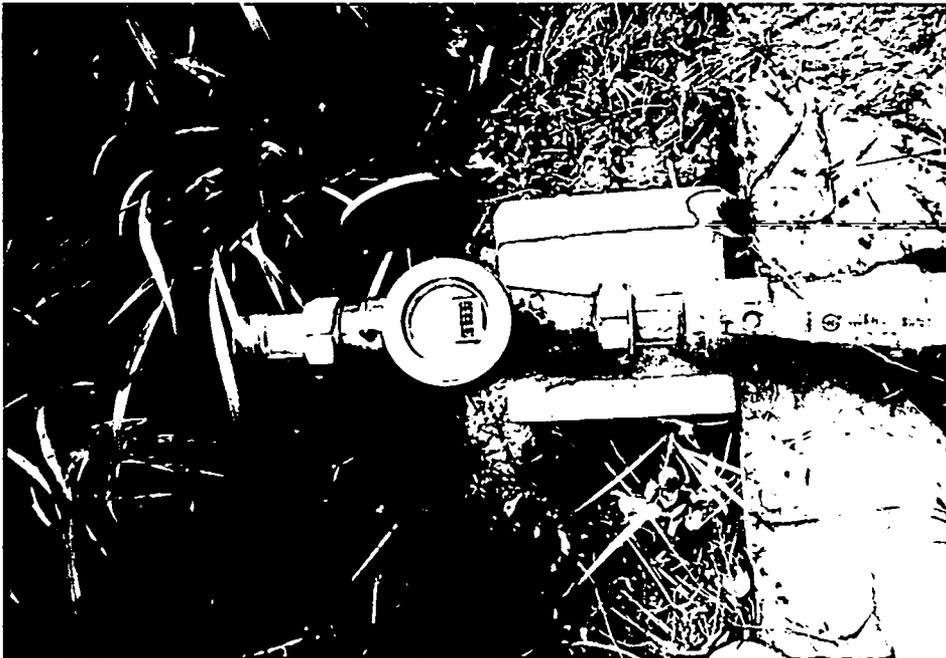
· <그림 4-17> 관개량 측정용 유량계

## 나. 측정장치의 설치

용수량을 산정하기 위해서는 포장에서의 물수지를 파악할 수 있는 각종 측정기구의 설치가 필요하다. 본 시험에서는 유량계, 배수량 측정용 사각 웨어, 답수심 측정용 센서와 자료 수집장치가 설치되어 운영되었다. 각 측정기구에 대해 살펴보면 다음과 같다.

### 1) 관개량 측정

시험포장의 관개는 직경 25mm의 PVC 파이프 라인을 이용하여 공급하였으며, 각 시험구마다 <그림 4-17>과 같이 유량계를 설치하여 관개량을 측정하였다.



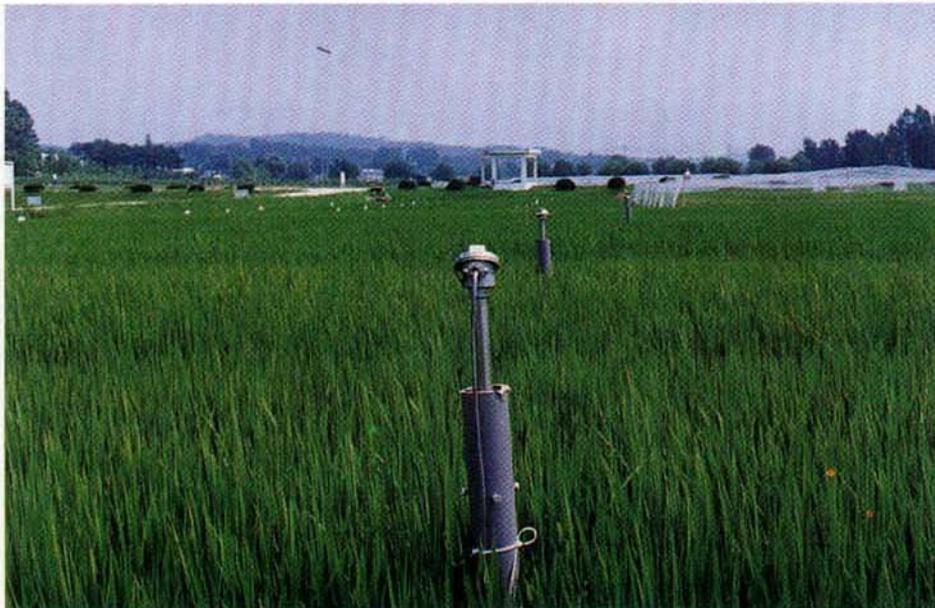
〈그림 4-17〉 관개량 측정용 유량계

## 2) 담수심 측정

시험포장에서의 감수심을 측정하기 위하여 시험구마다 압력식 수위 센서를 설치하였으며, 5개 센서로부터 얻어지는 자료는 10분마다 자동으로 자료 수집장치에 저장될 수 있도록 하였다. 측정에 사용된 센서의 제원 및 특징은 <표 4-14>과 같고, 설치 상황은 <그림 4-18>과 같다.

<표 4-14> 담수심 측정용 수위센서의 제원 및 특징

| 종 류  | 압력식 수위센서  | 비 고      |
|------|---|----------|
| 장 점  | 정밀함<br>구조가 간단하고 소형임<br>가동부가 없어 설치가 용이함<br>파동, 동결에 의한 영향이 작음 |          |
| 단 점  | 온도에 민감함<br>관리에 주의를 요함                                       |          |
| 측정범위 | 0 - 500mm   | 영점조정이 필요 |
| 입력전압 | DC 5V   |          |
| 출력전압 | DC 0.5V - 4.5V  |          |



<그림 4-18> 담수심 측정용 센서의 설치 상황

## 2) 담수심 측정

시험포장에서의 감수심을 측정하기 위하여 시험구마다 압력식 수위 센서를 설치하였으며, 5개 센서로부터 얻어지는 자료는 10분마다 자동으로 자료 수집장치에 저장될 수 있도록 하였다. 측정에 사용된 센서의 제원 및 특징은 <표 4-14>과 같고 설치 상황은 <그림 4-18>과 같다.

<표 4-14> 담수심 측정용 수위센서의 제원 및 특징

| 종 류  | 압력식 수위센서  | 비 고      |
|------|---|----------|
| 장 점  | 정밀함<br>구조가 간단하고 소형임<br>가동부가 없어 설치가 용이함<br>파동, 동결에 의한 영향이 작음 |          |
| 단 점  | 온도에 민감함<br>관리에 주의를 요함                                       |          |
| 측정범위 | 0 - 500mm   | 영점조정이 필요 |
| 입력전압 | DC 5V   |          |
| 출력전압 | DC 0.5V - 4.5V  |          |



<그림 4-18> 담수심 측정용 센서의 설치 상황

### 3) 배수량 측정

강우 또는 과도한 관개에 의해 발생하는 배수량을 측정하기 위하여 각 시험구 마다 배수량 측정용 사각웨어형 물꼬를 아크릴로 제작하여 설치하였으며, 물꼬의 높이와 수위센서에서 얻어지는 수위와의 관계에서 월류 수심을 계산하고, 식 (4-1)에 의하여 배수량을 계산하였다. 한편 물꼬의 문비 높이로는 2, 4, 6, 8, 10cm 로 만들어 시기별로 적정 담수심을 유지할 수 있도록 하였다. 물꼬의 형태와 설치상황은 <그림 4-19>, <그림 4-20>과 같다.

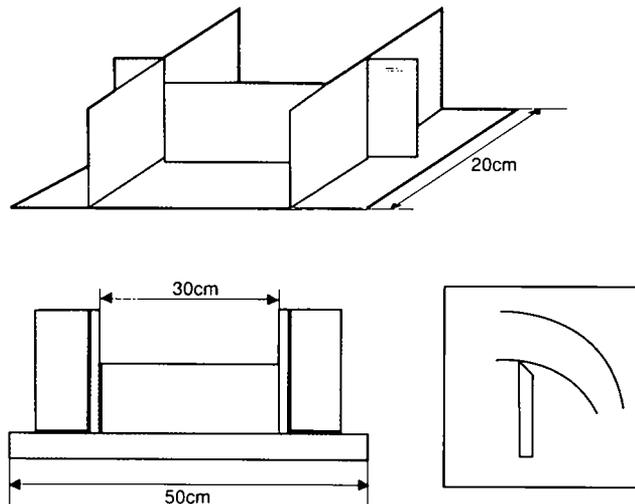
$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H^{2/3} \quad (\text{Rehbock의 실험결과, Henderson 1966})$$

$$C_d = \text{유량계수} (0.611 + 0.08 \frac{H}{P})$$

$$P : \text{물꼬높이(m)} \quad (4-1)$$

$$L : \text{폭(m)}$$

$$H : \text{월류수심(m)}$$



<그림 4-19> 물꼬의 형태

# 파오손면

145~146

에, 침투에 의해 자연배수를 시키거나 물 빠짐이 좋지 않은 논은 낙수하여 바닥 다지기가 이루어지고, 담수심이 0~2mm 정도 되었을 때에 파종하거나(담수표면산파) 완전배수를 하여 논 표면의 습윤상태가 원추관이 6~7cm 들어갈 정도이거나 두부 또는 컷볼 정도로 굳었을 때 전용파종기를 이용하여 3~4cm 깊이로 골을 타면서 파종(무논골뿌림재배)하게 된다.

보통 발아 이후 3~4엽이 될때까지 토양의 통기성 향상과 발아 조건을 조절하기 위해 담수와 낙수를 반복하게되며 무논골뿌림재배에서는 4~5일의 강낙수(눈그누기)를 실시하여 논 표면이 실금이 갈 정도로 말리기도 한다. 한편 담수직파의 씨레질 용수량은 씨레질전의 논의 토양수분 상태와 토양 종류에 따라 용수량의 차이가 있으며, 초기 담수량은 강우의 발생에 많은 영향을 많이 받게 된다.

담수직파에서의 용수량은 식 (4-3)과 같이 산정될 수 있다. 이를 이앙재배의 용수량과 비교하면 못자리용수량은 필요 없고, 씨레질용수량에 있어서도 이앙재배의 씨레질 후 30mm 담수에 비하여 0~2mm정도의 담수를 하며, 논 바닥 다지기를 위해 얇은 경운과 씨레질을 권장하고 있기 때문에 이앙재배의 씨레질용수량과는 다를 수 있으며, 토양의 초기 수분 조건, 토양의 종류, 경운 깊이 등을 고려하여 계산되어야 한다. 또한 담수직파는 이앙재배의 씨레질 시기와 파종시기와는 다르기 때문에 물관리에 있어서도 이에 대한 고려가 되어야 한다.

$$\text{담수직파재배 용수량} = \text{씨레질용수량} + \text{초기담수량} + \text{재배관리용수량} \quad (4-3)$$

#### 다. 건담직파재배의 용수량

건담직파의 경우는 일반적인 발작물 처럼 법씨를 파종하게 되며, 발아후에 3~4엽 시기에 담수를 실시하게 된다. 건담직파는 담수직파와 달리 건담상태에서 경운과 로터리 작업을 하게 되므로 씨레질 용수량과 같은 논의 정지용수는 필요없지만 발아를 위한 토양수분조건을 유지하기 위해 강우가 부족할 경우에 관개를 실시해야 하고, 담수를 시작하는 초기에 많은 관개용수량을 필요하게 되는 것이

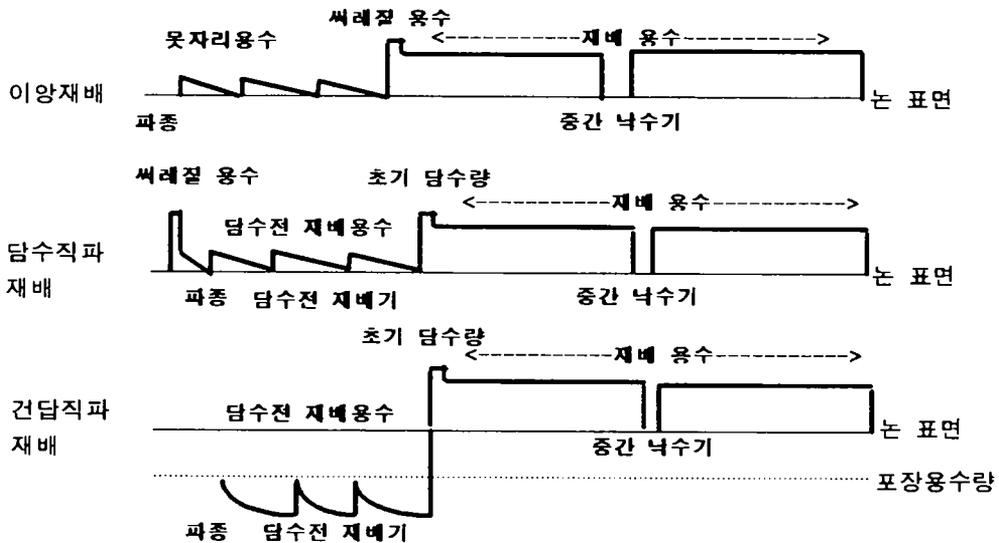
특징이며, 관개시기도 이양재배와 판이하므로 물관리에 있어서 이에 대한 고려가 필요 되어야 할 것이다. 따라서 건답직파의 용수량은 식 (4-4)과 같이 산정할 수 있다.

$$\text{건답직파재배용수량} = \text{담수전 재배용수량} + \text{초기담수량} + \text{재배관리용수량} \quad (4-4)$$

### 라. 재배방식별 물관리 특성

이양재배, 담수직파 및 건답직파의 본답 관개전까지의 물관리를 위한 필요한 용수량의 변화를 살펴보면 <그림 4-21>과 같이 개념화 할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 이양재배는 못자리용수와 씨레질 용수 및 본답 재배관리용수로 구분되고, 담수직파재배는 씨레질 용수와 초기 담수용수, 재배관리용수로, 건답직파에서는 발아를 위한 토양수분 유지를 위한 담수전 재배용수와 3~4엽기 이후의 초기 담수용수, 본답 재배관리용수로 구분되어 진다.

각 재배방식별 최대용수량은 이양재배와 담수직파재배는 씨레질 용수량을 공급할 때 나타날 것으로 예상되며, 건답직파재배는 3~4엽기의 최초 본답 관개시에 용수량이 클 것으로 예상된다. 특히 건답직파 재배는 토양을 포화시킨 후에 담수해야 하므로 단기간에 이양재배나 담수직파재배에 비하여 많은 관개량을 필요로 한다.



<그림 4-21> 영농방식별 물관리 개념도

#### 4.2.4 재배방식별 용수량의 산정

##### 가. 관개수량의 측정

'97년도의 경기 진흥원에서 측정된 각 재배방식별 관개일 및 관개수량의 측정결과는 <표 4-15>와 같다. 측정된 관개량은 각 시험포구의 포장 면적으로 나누어 관개수심으로 환산하였다. 금년의 경우에는 이양재배 3개 시험구 중 1번 시험구의 측정결과치를 적용하였으며, 건답직파에서는 4, 5번 시험구의 측정결과를, 담수직파에서는 2개 시험구중 6번 시험구의 값을 적용하였다. 이러한 이유는 나머지 시험구의 측정자료에 결측자료가 있어 측정결과의 신뢰성에 문제가 있기 때문이다.

금회 적용된 시험구의 포장면적은 이양재배는 203m<sup>2</sup>, 건답직파는 402.5m<sup>2</sup>, 담수직파는 236.8m<sup>2</sup>이다.

<표 4-15> '97년도 시험포장의 관개수량 측정 결과

| 구분<br>월.일 | 이양재배                       |              | 건답직파                       |              | 담수직파                       |              | 비 고         |
|-----------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|-------------|
|           | 관개량<br>(m <sup>3</sup> /s) | 관개수심<br>(mm) | 관개량<br>(m <sup>3</sup> /s) | 관개수심<br>(mm) | 관개량<br>(m <sup>3</sup> /s) | 관개수심<br>(mm) |             |
| 4.28      | -                          | -            | -                          | -            | 32.468                     | 135.40       | 이양 : 포장1    |
| 5.18      | -                          | -            | -                          | -            | 3.767                      | 15.71        | 건답 : 포장4, 5 |
| 5.24      | 21.001                     | 103.45       | -                          | -            | -                          | -            | 담수 : 포장6    |
| 6. 3      | 2.446                      | 12.05        | -                          | -            | 0.92                       | 3.84         |             |
| 6. 7      | 4.916                      | 24.22        | -                          | -            | 8.287                      | 34.56        |             |
| 6. 9      | 3.743                      | 18.44        | -                          | -            | 9.252                      | 38.58        |             |
| 6.10      | -                          | -            | 21.278                     | 52.86        | -                          | -            |             |
| 6.11      | 6.636                      | 32.69        | 6.744                      | 16.76        | 8.129                      | 33.90        |             |
| 6.14      | -                          | -            | -                          | -            | 19.590                     | 81.69        |             |
| 6.15      | 9.755                      | 48.05        | 18.171                     | 45.15        | -                          | -            |             |
| 6.18      | 5.507                      | 27.13        | 11.726                     | 29.13        | 11.006                     | 45.90        |             |
| 6.23      | 1.315                      | 6.43         | 1.892                      | 4.70         | 3.489                      | 14.55        |             |
| 6.24      | 0.85                       | 4.19         | 14.957                     | 37.16        | -                          | -            |             |
| 8.18      | 4.903                      | 24.15        | 11.705                     | 29.08        | 11.193                     | 46.68        |             |
| 합 계       | 61.072                     | 300.8        | 86.473                     | 214.84       | 108.101                    | 450.81       |             |

### 나. 재배기간별 관개수량 분석

경기진흥원의 관개량 측정자료를 재배방식별로 초기 재배기간에 따라 분류하면 <표 4-16>과 같다. 이앙재배는 못자리용수와 씨레질용수로 구분하였고, 담수직파재배는 씨레질 용수와 초기담수용수, 건답직파에서는 밭아 또는 토양수분 유지를 위한 담수전 재배용수와 3~4엽기 이후의 담수전환을 위한 초기담수용수 구분하였다.

<표 4-16> 영농방식별 본답기 이전 용수량 비교

(단위 : mm)

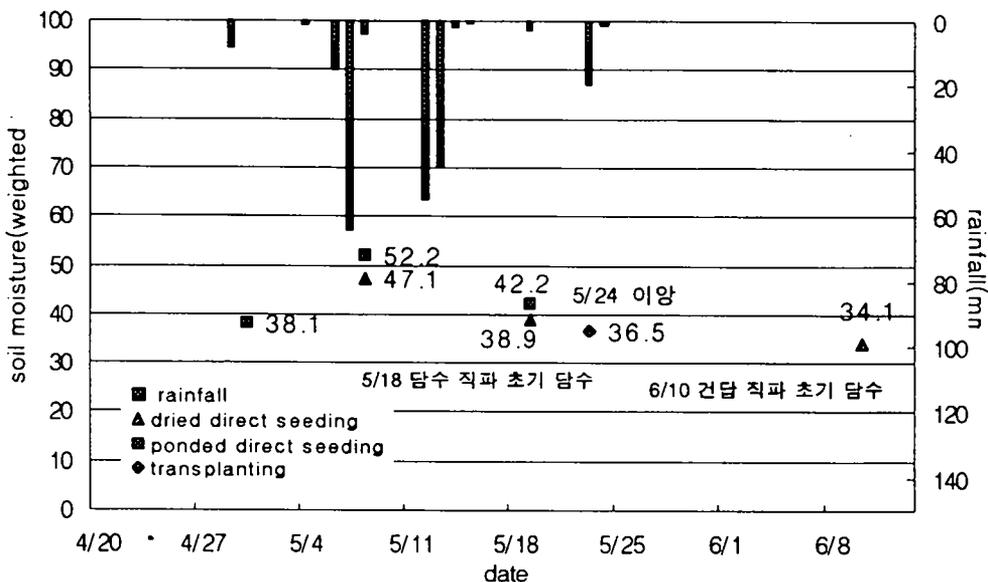
| 영농방식 | 용수량 특 성 | 년도 | 관개량   | 강우량   | 합 계   | 이앙및 파종기             | 강 우 량 산정기간 |
|------|---------|----|-------|-------|-------|---------------------|------------|
| 이앙재배 | 씨레질 용수량 | 96 | 61.7  | 0.7   | 62.4  | 5.23(이앙)            | 5.18~5.22  |
|      |         | 97 | 103.4 | 19.9  | 123.3 | 5.24(이앙)            | 5.20~5.24  |
| 담수직파 | 씨레질 용수량 | 96 | 42.0  | 30.6  | 72.6  | 5.3(파종)             | 4.29~5.3   |
|      |         | 97 | 135.4 | 0.0   | 135.4 | 4.28(파종)            | 4.24~4.28  |
|      | 초 기 용수량 | 96 | 41.3  | 15.2  | 56.5  | 5.23(담수)            | 5.4~5.23   |
|      |         | 97 | 15.7  | 194.9 | 210.6 | 5.18(담수)            | 4.29~5.18  |
|      | 합 계     | 96 | 83.3  | 45.8  | 129.1 |                     | 4.29~5.23  |
|      |         | 97 | 151.1 | 194.9 | 346.0 |                     | 4.24~5.18  |
| 건답직파 | 담수전 용수량 | 96 | 36.2  | 45.1  | 81.3  | 5.3(파종)<br>5.10(관개) | 4.29~5.18  |
|      |         | 97 | 0.0   | 273.1 | 273.1 | 5.1(파종)             | 4.27~6.9   |
|      | 초 기 용수량 | 96 | 49.2  | 0.7   | 49.9  | 5.23(담수)            | 5.19~5.23  |
|      |         | 97 | 52.9  | 0.0   | 52.9  | 6.10(담수)            | 6.10~6.10  |
|      | 합 계     | 96 | 85.4  | 45.8  | 131.2 |                     | 4.19~5.23  |
|      |         | 97 | 52.9  | 273.1 | 326.0 |                     | 4.29~5.23  |

이앙재배는 표에서 보는 바와 같이 씨레질용수의 경우 '96년도에는 61.7mm를 사용하였으며 '97년에는 103.4mm를 사용하여 평균 82.6mm를 사용한 것으로 나타났다. 이는 설계기준의 씨레질 용수량으로 사용하고 있는 100~150mm와 비교하면 적은 양이며, 이앙전 5일간의 강우량을 포함하더라도 '96년도에는 62.4mm이고, '97

년도에 경우도 123.3mm로서 적은 양임을 알 수 있다.

이는 담수심을 30mm라고 보면 약 30~93mm정도가 토양을 포화시키는데 사용한 양으로 계산할 수 있어, 현재 씨레질용수량의 산정시 토양을 포화시키기 위한 용수사용이 약 100mm 내외로 산정되는 것에 비하면 적은 양임을 알 수 있다. 그 이유는 이앙재배 시험포장의 토양수분변화를 살펴보면 알 수 있는 바, 시험포장의 토양은 사양토로서 중량수분함량 30%내외이면 포화상태로 볼 수 있으며, '97년도의 경우에 <표 4-17>와 <그림 4-22>에서 보는 바와 같이 5월 24일 씨레질 전의 담수전 토양수분량이 36.5%로서 논의 포화상태에서 씨레질을 실시한 것에 기인한 것으로 사료된다.

따라서 시험포장의 토양수분을 50%라고 가정하고 40% 공극을 가진 사양토 30cm를 포화시키기 위한 수량은 60mm로서, 이를 '96년도와 '97년도의 평균씨레질 용수량 82.6mm에 합하면 약 140mm정도로서 현재 설계기준범위에 해당하는 용수량이다.



<그림 4-22> 영농방식별 재배 포장에서의 토양수분 변화(97년)

<표 4-17> 시험포장 토양의 물리적 특성

| 토양통 | 토양명 | 가비중          |               |               |      | 공극율(%)       |               |               |      | 포화 토양수분함량<br>(중량수분함량,%) |               |               |      |
|-----|-----|--------------|---------------|---------------|------|--------------|---------------|---------------|------|-------------------------|---------------|---------------|------|
|     |     | 0-10<br>(cm) | 10-20<br>(cm) | 20-30<br>(cm) | 평균   | 0-10<br>(cm) | 10-20<br>(cm) | 20-30<br>(cm) | 평균   | 0-10<br>(cm)            | 10-20<br>(cm) | 20-30<br>(cm) | 평균   |
| 지산통 | 사양토 | 1.24         | 1.36          | 1.47          | 1.36 | 45.9         | 41.1          | 37.0          | 41.3 | 36.9                    | 30.1          | 25.1          | 30.4 |

담수직과 재배에서는 <표 4-16>에서 바와 같이 썩레질 용수량의 경우 '96년에는 42.0mm, '97년도에는 135.4mm가 사용되어 '97년도에 보다 사용량이 많음을 알 수 있다. 연도별로 차이가 나는 이유는 '96년도의 경우에는 썩레질전 5일간의 강우량이 30.6mm로 토양이 충분히 포화되었기 때문이며 이를 고려한다면 썩레질 용수량은 72.6mm로 산정할 수 있으며 2개년 평균 썩레질 용수량은 104.0mm로 나타났다.

한편 3~4엽기가 되어 이앙재배의 본답재배와 같은 물관리를 하게 되기 전까지의 담수직과 초기관개량을 보면 '96년도에는 41.3mm가 사용되었으며, '97년도에는 15.7mm가 사용되었다. '96년도의 경우에는 이 기간중 강우가 15.2mm에 불과하였으나 '97년의 경우 이 시기에 강우가 194.9mm가 발생하여 많은 관개가 필요하지 않았음을 알 수 있으며, <표 4-17> 및 <그림 4-22>의 토양수분 측정결과를 보면 토양수분함량이 42.2% 로서 거의 포화상태로 토양수분이 유지되었음을 보여주고 있다. 담수직과의 초기용수량 산정기간은 '96년도의 경우 4.29~5.23일 이며 '97년도에는 썩레질이 끝난 4.29일부터 5.18일 까지이다.

건답 직파재배의 경우에는 <표 4-16>에서 보는 바와 같이 담수전 재배용수량이 '96년도에는 36.2mm가 사용되었으나 '97년도에는 관개량이 0.0mm로서 이 기간중에 강우량이 많아 이 영향으로 토양수분량이 <그림 4-22>에서 보는 바와 같이 47.1%, 38.9%, 34.1%로 거의 포화 상태로 유지되었으며, 또한 이미 건답직파 시험포장 주변의 논이 담수됨으로 인하여 논두렁 삼투나 지하수위 상승으로 토양수분이 함양되어 별도의 관개가 필요하지 않았던 것으로 사료된다.

또한 건답상태에서 담수상태로 전환하는 3-4엽기때의 초기관개량은 '96년도에는 49.2mm, '97년도에는 52.9mm가 사용되어 연도별로 비슷하게 산출되었으나 '97년도에는 초기 담수기간중 강우가 많았음에도 '96년 보다 더 많은 관개수량이 필요하였다는 것은 건답에서의 초기담수량이 이 보다 많을 수 있음을 나타내고 있다. 이 기간중의 강우량을 포함시키면 '96년도에는 131.2mm, '97년도에는 326.0mm 가 소요되었다.

한편 재배방식별로 본답기 이전의 씨레질 용수량을 포함한 초기용수량 및 본답기의 용수량을 정리하여 나타내면 <표 4-18>와 같다.

<표 4-18> 영농방식별 재배기간의 관개량

(단위 : mm)

| 영농방식 \ 관개량 | 년도 | 담수전<br>관개량 | 씨레질<br>용수량 | 초기<br>관개량 | 본답재배기<br>관개량 | 총 관개량 | 비고 |
|------------|----|------------|------------|-----------|--------------|-------|----|
| 이앙재배       | 96 | -          | 61.7       | -         | 209.6        | 271.3 |    |
|            | 97 | -          | 103.4      | -         | 139.1        | 300.8 |    |
| 담수직파       | 96 | -          | 42.0       | 41.3      | 242.1        | 325.4 |    |
|            | 97 | -          | 135.4      | 15.7      | 299.7        | 450.8 |    |
| 건답직파       | 96 | 36.2       | -          | 49.2      | 226.4        | 311.8 |    |
|            | 97 | 0.0        | -          | 52.9      | 161.9        | 214.8 |    |

재배방식별로 벼를 재배하는데 필요한 총 관개수량을 살펴보면 이앙재배의 경우에는 '96년도에 271.3mm가 소요되었으며, '97년도에는 300.8mm를 관개하여 평균 286.1mm가 필요한 것으로 나타났다. 이를 용수특성별로 보면 '96년도의 경우에는 씨레질 용수량이 적게 소모된 반면 본답기에 많은 관개량이 필요하였고 '97년에는 씨레용수가 많은 대신 본답기의 용수량이 적게 나타났다. 이러한 이유는 답면의 유효강우가 달라지기 때문으로 풀이된다.

담수직파의 경우 '96년도에는 총 325.4mm가 소요되었으며, '97년도에는 450.8mm를 관개하여 평균 388.1mm를 관개하였음을 알 수 있다. 연도별 차이가 많은 이유

는 '97년도의 본답 씨레용수가 135.4mm로 높게 나타난 결과이며 '97년도의 씨레용수에 대해서는 앞에서 설명한 바와 같다.

건답직파의 경우에는 '96년도에 총 311.8mm가 소요되었으며, '97년도에는 214.8mm가 소요되어 평균 263.3mm를 관개한 것으로 나타났다. 용수특성을 살펴보면 '96년도에는 담수전 발아촉진을 위하여 발아기간 중 36.2mm를 공급하였으나 '97년도에는 발아용수가 필요없었던 것으로 나타났으며, 건답 초기담수량은 2개년 간 거의 비슷하게 나타났으나 본답기에서는 연도별로 차이가 심하였다.

재배방식별 용수량의 차이를 살펴보면 '96년도의 경우에는 담수직파는 이앙재배에 비하여 19.9%의 용수량이 더 필요하였으며, 건답직파는 14.9%의 용수량이 더 필요한 것으로 나타났다. '97년도의 경우에는 담수직파는 이앙재배에 비하여 49.8%가 많게, 건답에서는 28.6%가 적게 나타났다. 2개년 평균치를 비교해 보면 담수직파는 35.7%의 용수가 더 필요하였으나 건답직파에서는 8%가 적게 필요하였다.

그러나 이러한 결과만을 가지고 재배방식별 필요수량의 차이를 규명할 수는 없다. 이러한 이유는 관개량의 측정기간이 짧고 시험구의 포구가 작고 인접하여 있어 인접 시험포구의 담수량이 다른 시험포구로 누수되기도 하고 지하수위에 영향을 미치기도 하기 때문이다. 건답직파에서 연도별로 용수량의 기복이 심한 이유는 이러한 이유때문으로 생각된다. 또한 논 표면에 내린 강우에 대한 고려없이 성급한 결론을 내린다는 것은 무리일 것이다.

#### 다. 유효수량 및 담수심

본 연구에서는 논에서의 물수지를 분석하고 유효수량을 산정하고자 4.1절에서 서술한 바와 같이 시험포장에 담수심 측정 센서와 자료수집장치, 4각 웨어형 물꼬를 설치하여 담수심과 배수량 등을 측정하였다.

유효수량은 본답 재배기 이전과 본답재배 이후로 구분하여 산정하였다. 본답 재배기 이전은 이앙재배의 경우 씨레질 기간이 해당되며, 담수직파에서는 씨레질 기간

및 본엽이 3~4엽이 되기전 까지의 초기 물관리기간을 말하고 본답재배기는 일반 이양재배와 같이 물관리를 하게되는 3~4엽기 이후를 말한다. 건답직파에서는 건답에서 담수로 전환하기 이전을 본답 재배기 이전으로 그 이후를 본답재배기로 구분하였다.

이양재배의 본답기 이전 유효우량은 씨레질전 5일 강우량에서 씨레질용수량에 기여한 양을 산정하였고, 담수직파재배의 경우에는 파종후 초기 물관리 기간중의 강우량을 대상으로 증발산량과 0~2mm의 담수심을 유지하는데 기여한 양을 산정하였으며, 건답직파재배의 경우에는 파종후 초기 담수까지의 기간중의 강우량을 대상으로 증발산량과 토양수분함양에 기여한 양을 산정하였다.

이와 같은 기준으로 산정한 본답 재배이전의 유효우량은 이양재배의 경우에는 19.9mm이며, 담수직파재배는 44.0mm, 건답직파재배는 156.8mm로 나타났다. 담수직파재배에서 담수전 유효우량이 44.0mm로 산정된 이유는 <표 4-19> 및 <그림 4-22>에 나타난 바와 같이 씨레질로 토양이 포화된 후, 이 기간 중의 관개량이 0.0mm이며, 토양이 포화상태로 유지되었고, 씨레질 후 초기담수까지 0~2mm의 담수를 유지하였으며, 초기 관개량 15.7mm는 담수심을 위한 관개로 사용되었다고 볼 때, 발생 강우량중 유효우량은 파종후 초기 담수까지의 20일간 증발산량에 사용되었다고 볼 수 있으며 <표 4-6>에서 5월 중순의 증발산량인 2.2mm를 기준으로 44.0mm로 산정하였으며 나머지는 배수되었다고 보았다.

건답직파재배의 담수전 유효우량을 156.8mm로 산정한 이유는 <표 4-19> 및 <그림 4-22>에서 나타난 바와 같이 이 기간 중의 관개량이 0.0mm이며, 담수전 토양수분은 34.1%로서 거의 포화상태였으며, 초기 담수량 59.2mm는 담수심을 위한 관개로 사용되었다고 볼 때, 발생 강우량중 유효우량은 파종후 초기 담수까지의 44일간 증발산량과 토양수분함양에 사용되었다고 볼 수 있다. 또한 파종 후 초기담수까지의 증발산량을 <표 4-6>에서 5월 중순의 증발산량인 2.2mm으로 볼 때, 44일간의 증발산량 96.8mm와 공극을 40%의 사양토를 토양수분이 50%일 때 이를

포화상태로 하는데 필요한 60.0mm를 합하여 156.8mm를 유효우량으로 산정하였다. 본답기 이전인 초기 물관기의 유효우량 산정내역은 <표 4-19>과 같다.

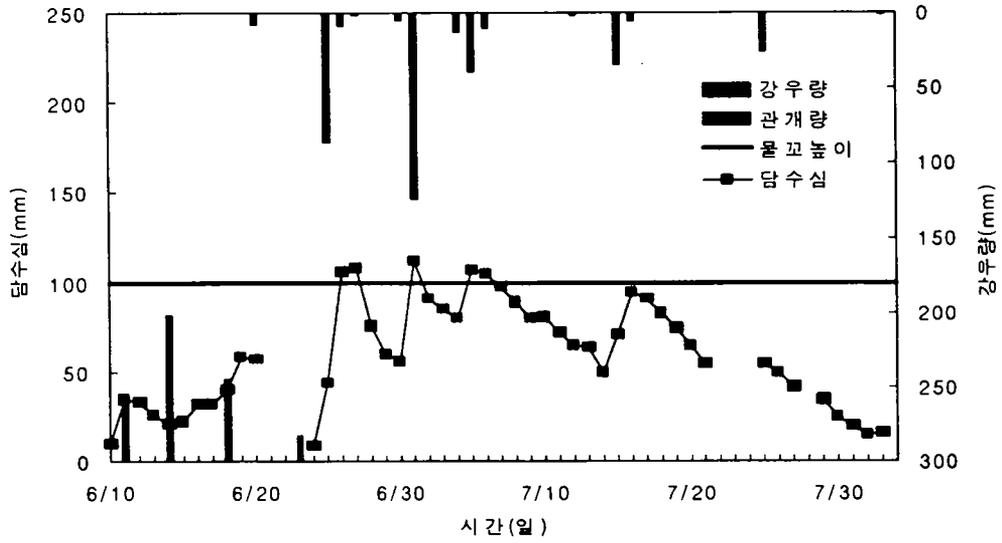
<표 4-19> 본답기 이전 초기물관리기의 유효우량

| 영농방식 | 토 양 수 분<br>(중량수분함량, %) |       | 관개량(mm)    |            | 유 효 우 량   |             |              |
|------|------------------------|-------|------------|------------|-----------|-------------|--------------|
|      | 씨레질 전                  | 초기담수전 | 씨레질<br>용수량 | 초 기<br>담수량 | 기 간       | 강우량<br>(mm) | 유효우량<br>(mm) |
| 이앙재배 | 36.6                   | -     | 103.4      | -          | 5.20~5.24 | 19.9        | 19.9         |
| 담수직파 | 38.1                   | -     | 135.4      | -          | 4.24~5.18 | 194.9       | 44.0         |
| 건담직파 | -                      | 34.1  | -          | 59.2       | 4.27~6.10 | 273.0       | 156.8        |

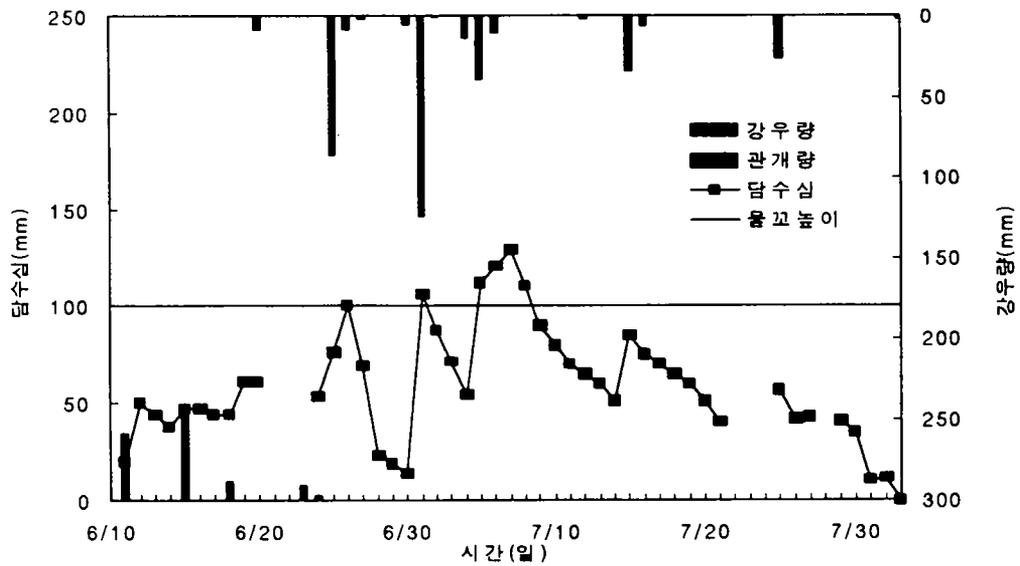
초기물관리기를 제외한 본답기 이후의 본답유효우량은 강우량에서 배수구로 유출된 배수량을 감하여 계산하도록 하였으며, 이는 담수심측정 센서에 의하여 수집된 자료에 근거하여 담수심이 배수구의 사각웨어 언정보다 높을 때의 수심과 시간을 곱하여 이를 배수량으로 계산하였다. '97년도에 수집한 영농방식별 시험포장에 대한 담수심변화의 측정결과는 이앙재배 포장에서는 <그림 4-23>, 담수 직파재배 포장에서는 <그림 4-24> 그리고 건담 직파재배 포장에서는 <그림 4-25>와 같다.

유효우량의 산정기간은 초기 담수시기부터 최종낙수시기 까지로 정의하였으며, <표 4-20>에서 보는 바와 같이 이앙재배의 경우에는 5월24일부터 9월 20일까지, 담수직파재배는 5월 18일에서 9월 20일 까지, 건담직파의 경우에는 6월10일에서 9월 20일까지의 기간에 대하여 실시하였다. 강우량은 경기도 농촌진흥원내에 설치된 기상측정장치의 시(時) 강우량 자료를 사용하였다.

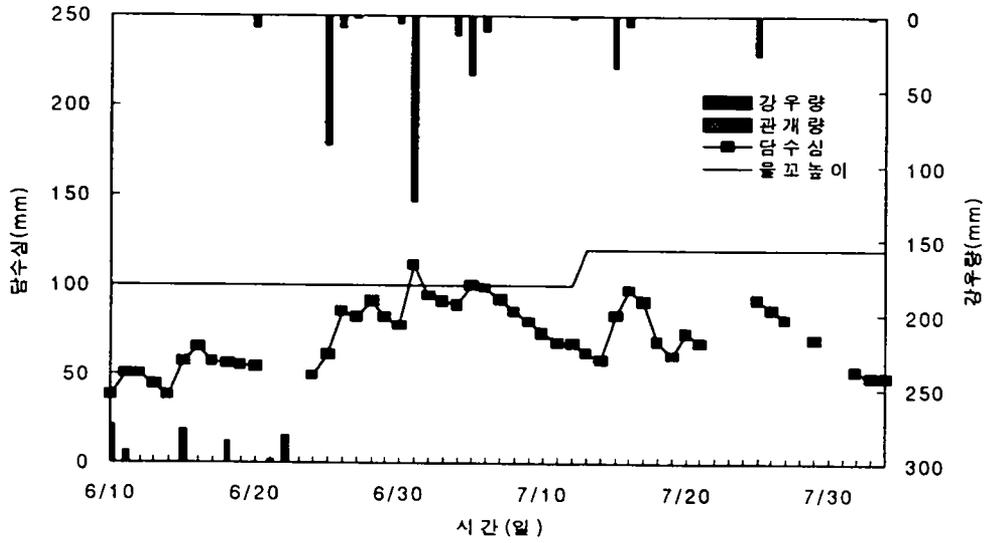
측정기간 동안 계산된 배수량은 <그림 4-26>, <그림 4-27>, <그림 4-28>에서 보는 바와 같이 '97년 6월 25일~6월 26일, '97년 6월 30일~7월 1일, '97년 7월 4일~7월 5일의 세번의 집중 폭우시에 물꼬를 넘는 배수량을 식 (4-1)로부터 산정하였다.



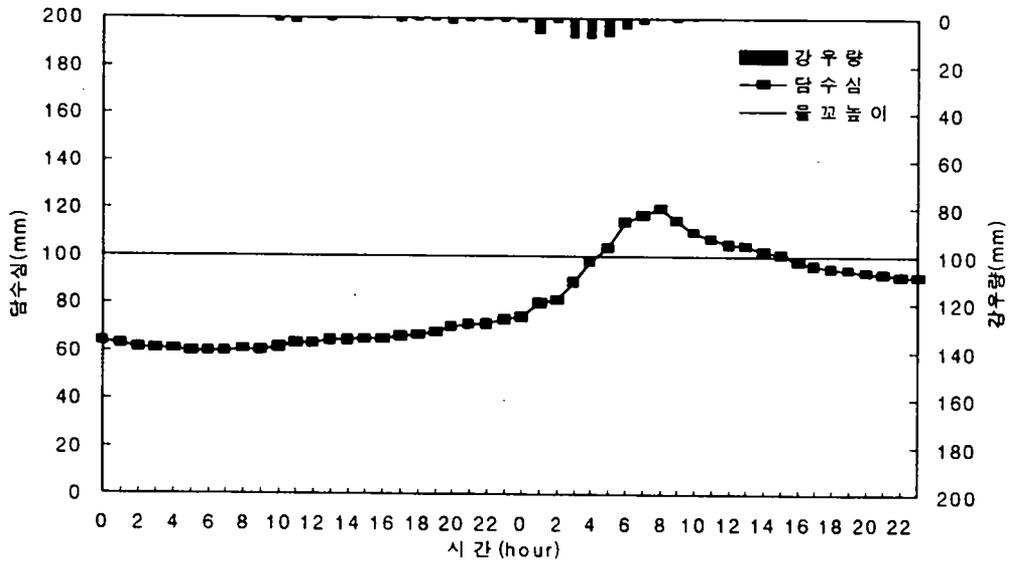
<그림 4-23> 이양재배 논의 일 담수심 변화



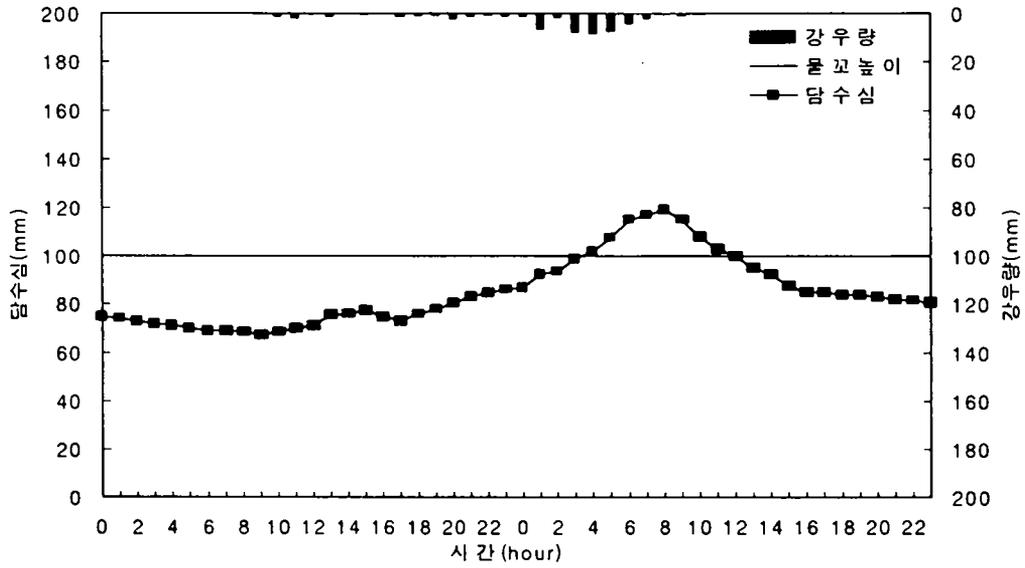
<그림 4-24> 담수직파 논의 일 담수심 변화



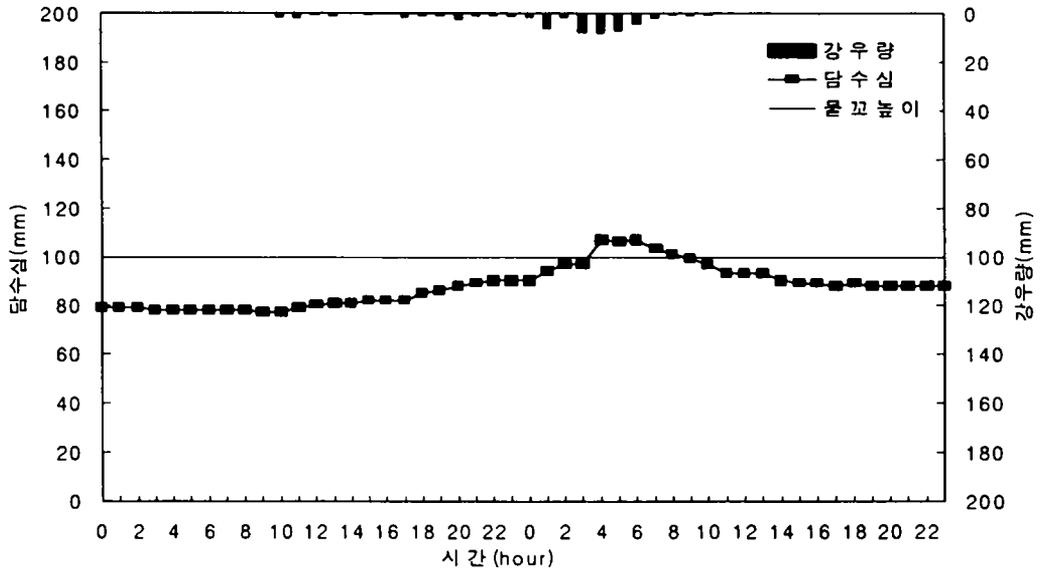
<그림 4-25> 건답직과 논의 일 담수심 변화



<그림 4-26> 이앙재배 논의 시간별 담수심 변화 (7/4/97~7/5/97)



<그림 4-27> 담수직파 논외 시간별 담수심 변화 (7/4/97~7/5/97)



<그림 4-28> 건답직파 논외 시간별 담수심 변화 (7/4/97~7/5/97)

한편, 위 그림 <그림 4-26>, <그림 4-27>, <그림 4-28>은 '97년 7월 4일~7월 5일의 강우에 의한 물꼬 월류시에 담수심의 변화를 이앙재배, 담수직파재배, 건담 직파재배 포장별로 시간에 대하여 나타낸 것이다. 이들은 재배 논에 따라 담수심의 변화형태를 각기 다르게 나타내고 있는데, 이것은 논의 침투와 배수특성의 차이에 기인한 것으로 보였다.

배수량 산정결과는 이앙재배, 담수직파, 건담직파 각각에 대하여 133.9mm, 129.9mm, 115.7mm로 나타났다. 산정기간 동안 총강우량은 이앙재배에서는 713.5mm, 담수직파에서는 732.8mm, 건담직파에서는 661.7mm였으며 각각에 대한 유효우량은 579.6mm, 602.9mm, 546.0mm로 산정되었다. 이를 정리하면 <표 4-20>와 같다.

<표 4-20> 영농방식별 본답기 유효우량 산정 결과

(단위 : mm, %)

| 영농방식 | 산정기간      | 강우량   | 배수량   | 유효우량  | 유효율  | 비 고 |
|------|-----------|-------|-------|-------|------|-----|
| 이앙재배 | 5/24-9/20 | 713.5 | 133.9 | 579.6 | 81.2 |     |
| 담수직파 | 5/18-9/20 | 732.8 | 129.9 | 602.9 | 82.3 |     |
| 건담직파 | 6/10-9/20 | 661.7 | 115.7 | 546.0 | 82.5 |     |

재배방식별로 유효우량의 차이를 <그림 4-23>~<그림 4-25>에 의해 비교해 보면, 이앙재배 논에서는 물꼬를 넘는 기간이 세번이었으며, 건담직파 논에서는 두 번의 물꼬 월류가 생겼는데, 이는 건담직파재배의 경우 도복 방지를 위한 심수 관개를 실시하기 위해 물꼬의 높이를 높게하였기 때문에 나타난 결과로 생각된다.

#### 라. 영농방식별 총 필요수량

영농방식별 관개수량 및 유효우량을 고려한 '97년도의 총필요수량 산정 결과는 <표 4-21>에서 보는 바와 같다. 영농방식에 따른 총필요수량을 살펴보면 이앙재배는 900.3mm, 담수직파재배는 1097.7mm, 건담직파재배는 917.6mm로 나타났으며, 담수직파가 이앙재배에 비하여 197.4mm정도 더 소비한 것으로 나타났으며

건답직파는 이앙재배에 비하여 17.3mm를 더 소비한 것으로 나타났다.

<표 4-21> '97년도 영농방식별 총 필요수량

(단위 : mm)

| 영농방식 | 총 관개량 | 본 답 전 유효수량 | 본 답 기 유효수량 | 총 필요수량 | 비 고 |
|------|-------|------------|------------|--------|-----|
| 이앙재배 | 300.8 | 19.9       | 579.6      | 900.3  |     |
| 담수직파 | 450.8 | 44.0       | 602.9      | 1097.7 |     |
| 건답직파 | 214.8 | 156.8      | 546.0      | 917.6  |     |

이와같은 결과로 볼 때 담수직파는 이앙재배에 비하여 21.9%, 건답직파는 2.0%의 용수가 더 필요함을 알 수 있다. 그러나 이와같은 결과는 시험기간이 2년에 불과하고 시험포장이 서로 인접하여 있어 담수 시험구나 이앙재배 시험구에 관개되는 수량이 시기적으로 관개기간이 늦게되는 건답 시험구로 누수가 되거나 지하수위를 높여 건답직파에서의 본답기 관개수량이 상대적으로 적게 산정된 것으로 판단되어 정확한 결과로 보기에는 어려운 점도 있다.

재배방식별 총 필요수량의 차이는 재배방식별로 물관리가 서로 다르고 재배기간이 달라지기 때문에 영농방식별로 유효수량이 달라지고 토양수분함량도 달라지기 때문에 초기 담수심을 유지하기 위한 관개량이 차이가 나기 때문인 것으로 볼 수 있다.

#### 4.2.5 영농방식별 생산량 비교

'97년 경기진흥원의 시험포장의 영농방식별 생육상황을 살펴보면 <표 4-22>에서 보는 바와 같다. 영농방식별 생육상황을 보면 담수직파재배의 입모율이 60.7%로서 건답직파에 비하여 6.3% 높게 나타났으며, 또한 최고 분얼기의 경수에 있어서도 m<sup>2</sup>당 621개로서 3가지 영농방식중 가장 높게 나타났다. 엽면적지수인 LAI도 담수직파재배가 가장높게 나타나 3가지 영농방식중에서 가장 활발한 생육을 보인 것으로 나타났다.

<표 4-22> 영농방식별 생육상황

| 영농방식 | 입모율 (%) | 입모수 (본/m <sup>2</sup> ) | 최고분얼기 경수 (개/m <sup>2</sup> ) | 유수형성기                 |      |
|------|---------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|------|
|      |         |                         |                              | 경수(개/m <sup>2</sup> ) | LAI  |
| 이앙재배 | -       | -                       | 511                          | 425                   | 4.23 |
| 담수직파 | 60.7    | 128                     | 621                          | 514                   | 4.35 |
| 건담직파 | 54.4    | 138                     | 591                          | 434                   | 3.85 |

\* LAI : Leaf Area Index

한편, 생산량에 관계된 출수기 생육 및 수량 구성요소를 살펴보면 <표 4-23> 과 같이 나타났다.

<표 4-23> 영농방식별 출수기 생육 및 수량 구성요소

| 영농방식 | 출수기  |                        |                         |      | 간장 (cm) | 수장 (cm) | 수당 입수 (입) | 등숙 비율 (%) | 천립중 (g) | 도복 (0-9) | 쌀수량 (kg/10a) |
|------|------|------------------------|-------------------------|------|---------|---------|-----------|-----------|---------|----------|--------------|
|      | 월일   | 수수 (개/m <sup>2</sup> ) | 전물중 (g/m <sup>2</sup> ) | LAI  |         |         |           |           |         |          |              |
| 이앙재배 | 8.15 | 352                    | 810                     | 5.17 | 87.7    | 21.0    | 93        | 91.1      | 22.4    | 0        | 5525         |
| 담수직파 | 8.14 | 384                    | 819                     | 5.15 | 85.5    | 20.5    | 87        | 89.2      | 22.7    | 2        | 497          |
| 건담직파 | 8.20 | 353                    | 783                     | 4.50 | 81      | 19.5    | 83        | 86.4      | 22.3    | 4        | 448          |

표에서 알수 있는 바와 같이 담수직파재배와 이앙재배가 8월 14일 경에 출수되어 건담직파재배에 비하여 5일 정도 빠른 출수를 나타냈으며, 생산량은 생육이 가장 활발했던 담수직파재배에 비하여 이앙재배의 수당 입수가 93립, 등숙비율이 91.1%, 천립중이 22.4g, 쌀수량이 10a당 525kg 으로 나타나 수확에 있어서는 이앙재배가 유리한 것으로 나타났다. 이와 같은 이유는 이앙재배에 비하여 담수직파재배와 건담직파재배에서 도복이 많이 발생하여 최종적인 생산량의 감소에 많은 영향을 주었기 때문으로 판단된다. 따라서 직파재배의 경우에는 출수기 이후 세심한 물관리가 필요하며 도복에 강한 직파 적응품종 등의 개발이 필요하다 하겠다.

### 4.3 시험결과와 고찰

#### 4.3.1 작물계수 시험

본 연구의 작물계수 시험의 주된 목적은 직파재배 중에서도 담수직파에 따른 작물계수를 산정하는 것이다. 담수직파는 본답에서 재배되는 생육기간이 길기 때문에 기왕의 여러 연구에서 산정된 작물계수를 그대로 적용할 수 없다. 담수직파에 따른 필요수량을 산정하기 위해서는 담수직파의 적정 파종기가 5월 초순이므로 이때 부터의 작물계수가 필요하게 된다. 그러나 기왕의 작물계수는 이앙재배를 위한 것으로 6월 중순 이후의 작물계수만이 산정되어 있다.

지금까지의 벼에 대한 작물계수 연구로는 농업용수개발 필요수량 산정기준(농어촌진흥공사, 1980)연구 및 작물 소비수량 산정방법의 정립(농어촌진흥공사, 서울대 농업개발연구소, 1986)에가 있다. 농업용수개발 필요수량 산정 기준연구로 나타난 작물계수는 현재 설계기준으로 활용되고 있으며 작물계수를 일반계와 통일계로 구분하여 수정 Blaney & Criddle식에 적용하여 왔으며 생육기별 작물계수는 <표 4-24>과 같다.

<표 4-24> B-C공식의 생육기별 작물계수(Kc)

| 생육기<br>품 종 | 6 월  |      | 7 월  |      |      | 8 월  |      |      | 9 월  |      | 평 균   |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
|            | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    |       |
| 재래종        | 0.89 | 0.91 | 0.95 | 0.99 | 1.06 | 1.18 | 1.30 | 1.22 | 1.11 | 0.96 | 1.057 |
| 신품종        | 0.86 | 0.95 | 1.08 | 1.22 | 1.40 | 1.58 | 1.68 | 1.52 | 1.26 | 0.96 | 1.251 |

그러나 이 값은 벼 생육시기에 있어 지역의 특성을 반영하지 못하고 있어 중부지방의 경우 <표 4-24>의 값을 벼 생육시기에 맞춰 10일 앞당겨 적용하고 있으며 Penman식에 의한 작물계수가 산정되어 있지 않는 단점이 있다.

한편 작물 소비수량 산정방법의 정립연구에서는 '82~'86년간의 5개년 동안

전국 9개 시험포장에서 생육기별 증발산량을 실측하여 작물계수를 산정한 바 있으며 산정방법별 작물계수는 <표 4-25> 및 <표 4-26>과 같다.

<표 4-25> B-C공식의 작물계수('82-'86)

| 구 분 \ 월 | 5월   | 6 월  |      |      | 7 월  |      |      | 8 월  |      |      | 9월   | 평 균  |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         | 상    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    |      |
| 북 부     | 0.98 | 0.83 | 0.68 | 0.87 | 1.13 | 0.90 | 0.82 | 0.96 | 0.84 | 0.72 | -    | 0.87 |
| 중 부     | -    | 0.71 | 0.76 | 0.73 | 0.69 | 0.76 | 0.87 | 1.02 | 0.86 | 0.84 | -    | 0.81 |
| 남 부     | -    | 0.83 | 0.70 | 0.64 | 0.77 | 0.90 | 0.90 | 1.11 | 0.95 | 0.91 | 0.92 | 0.86 |

<표 4-26> Penman공식의 작물계수('82-'86)

| 구 분 \ 월 | 5월   | 6 월  |      |      | 7 월  |      |      | 8 월  |      |      | 9월   | 평 균  |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         | 상    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    | 중    | 하    | 상    |      |
| 북 부     | 1.13 | 0.92 | 0.78 | 1.23 | 1.06 | 1.27 | 1.12 | 1.35 | 1.13 | 1.12 | -    | 0.89 |
| 중 부     | -    | 0.97 | 1.03 | 1.27 | 1.27 | 1.34 | 1.47 | 1.57 | 1.43 | 1.41 | -    | 1.18 |
| 남 부     | -    | 0.96 | 0.87 | 0.94 | 1.06 | 1.18 | 1.10 | 1.30 | 1.09 | 1.10 | 1.27 | 1.16 |

그러나 이 값은 일반계와 통일계를 구분하지 않고 통일하여 지역별로 적용하고 있으나 각 지역별로 담수직파에 필요한 5월의 작물계수는 산정되어 있지 않다.

본 연구에서 나타난 작물계수는 제4장 직파재배 소비수량 시험의 <표 4-9> 및 <표 4-10>에 나타난 바와 같다. 그러나 이 값을 바로 실무에 적용하기는 어려운 문제점이 있다. 이러한 이유는 상기 표에서 보는 바와 같이 증발산량의 실측기간이 짧고 부분적으로 결측기간이 많을 뿐만아니라 3개년 시험기간 동안의 기상변이를 고려한 작물계수의 보정과정이 생략되었기 때문이다. 그러므로 본 연구에서는 '82-'86년의 작물 소비수량 산정방법의 정립연구에서 나타난 작물계수와 제4장의 소비수량 시험결과로 나타난 작물계수의 값을 모두 고려한 <표 4-27>과 같은

생육기별 작물계수를 제안하고자 한다.

<표 4-27> 산정방법별 작물계수의 적용

| 구 분    | 4 월  |      |      | 5 월  |      |      | 6 월  |      |      | 7 월  |      |      | 8 월  |      |  | 9 월 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|--|-----|
|        | 하순   | 상순   | 중순   | 하순   | 상순   |  |     |
| Pernan | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.75 | 0.95 | 1.06 | 1.09 | 1.17 | 1.39 | 1.53 | 1.58 | 1.47 | 1.42 | 1.32 |  |     |
| B-C    | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.68 | 0.71 | 0.72 | 0.73 | 0.75 | 0.77 | 0.94 | 1.03 | 0.90 | 0.86 | 0.78 |  |     |

<표 4-27>의 작물계수 값은 각 산정방법별로 금회 연구결과와 작물 소비수량 산정방법의 정립연구 결과에 대한 전국 평균값으로 이양재배와 직파재배 모두 적용할 수 있으며 지역별 적용에 있어서는 현재 설계기준인 B-C식의 작물계수 적용방법과 동일하게 <표 4-27>의 값을 그대로 적용하거나 남부의 경우에는 생육기가 10일 정도 늦어지게 되므로 이를 고려하여 적용할 수 있을 것이다. 그러나 이 값은 지역적 특성이 고려되지 않은 전국 평균값으로서 필요수량 산정을 위한 설계 실무에 적용하기 위한 것이므로 지역적 특성을 고려할 필요나 부분적인 연구과제를 수행하기 위한 수단이라면 작물 소비수량 산정방법의 연구 및 본 연구결과로 나타난 작물계수값을 선별적으로 적용할 수 있을 것이다.

### 4.3.2 포장용수량 시험

재배방식별 필요수량의 용수수요 정도를 파악하기 위한 포장용수량 시험은 4.2절에서 언급한 바와 같은 많은 문제점이 있었음을 부인 할 수 없었다. 가장 중요한 이유는 포장의 선정에 있다. 당초 시험포장은 실제 직파재배 농가의 포장을 선정하여 초기 물관리 연구와 함께 관개수량을 실측할 계획이었으나 포장 선정의 어려움으로 경기 진흥원의 시험포장을 이용하여 시험을 하게되었다. 그러나 경기 진흥원 시험포장은 포장의 규모가 작고 각 시험구가 서로 인접하여 있어 담수직파 시험구에 관개를 하였을 경우 건답 시험구에 영향을 미치게 되기 때문에 정확한 필요수량의 변화를 규명할 수 없었다. 그러나 이러한 시험결과는 개략적인 재배방식별 용수수요를 판단하는데 중요한 자료가 될 것이다.

여 백

## 제5장 필요수량 산정 모형

5.1 필요수량 모형

5.2 모형의 구성

5.3 모형의 적용

5.4 단위용수량 산정

여 백

## 제5장 필요수량 산정 모형

### 5.1 필요수량 모형

#### 5.1.1 필요수량의 산정

필요수량을 안다는 것 농업용수개발과 물의 효율적인 관리계획수립에 있어 중요한 사항이다. 논 벼의 경우 한 필지의 필요수량은 증발산량과 삼투량을 합하고 논에서 이용되는 유효우량을 감하여 구할 수 있다. 삼투량은 토양의 종류, 지하수위 등에 의해 영향을 받는 반면 증발산량은 작물의 종류 및 당일의 기상여건에 의해 변화하고 유효우량은 강우량의 유무 및 대소에 영향을 받게 되므로 삼투량에 비해 그 변화율이 매우 크다. 필요수량은 다시 수로손실 또는 재배관리손실 및 시설관리수량을 고려하여 결정하게 된다.

그러므로 작물의 필요수량은 당일의 기상조건, 포장의 여건 및 영농방식에 따라 달라지며 또한 수로조직의 형태 및 작물의 성장단계도 중요한 변수가 된다. 기상조건은 필요수량을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 강우의 유무, 일사량의 정도, 습도, 풍속 등은 작물이 필요로 하는 증발산량을 발생시키며 포장에서 유효우량을 제공하기도 한다. 물론 이와같은 기상요소들은 작물의 생육단계에 영향을 미치기도 하고 생육 단계가 작물의 필요수량을 결정하기도 한다. 포장조건은 일반적으로 논에서의 삼투량, 물꼬높이에 의한 담수심, 관리손실, 관개면적 등을 의미한다. 이와같은 요소들은 포장에서의 물관리에 절대적인 영향을 미치며 물관리 방법에 따라 필요수량의 크기도 변하게 된다.

다음으로 중요한 조건은 영농방식 또는 재배방식이라 볼 수 있다. 논에서의 벼 재배방식은 이앙재배, 직파재배, 전·답 유회재배 등을 의미하며 이와같은 재배방식의 변화는 토양공극의 변화, 물관리 방법의 변화를 수반하게 되어 논에서의 필요수량도 변하게 된다. 또한 작물의 성장단계에 따른 물관리 방법도 중요한 변수가 된다.

작물 성장에 따라 심수관개를 해야 하며 때로는 낙수 또는 천수관개를 해야 할 뿐만 아니라 이앙재배의 경우 모내기에 따른 이앙용수 등도 별도로 필요하게 된다.

그러나 이와같은 요소들은 자연적인 조건에 의해 선택의 여지가 없는 것과 인위적으로 조작될 수 있는 것이 있다. 증발산량 및 삼투량과 유효우량은 자연적인 조건에 의해 결정되는 것이며 수로손실 또는 관리손실은 인위적으로 조작될 수 있는 요소라고 할 수 있다. 자연적인 요소들은 기상요소에 의해 자연발생될 수 있는 것이며 후자는 적절한 방법을 통하여 관리되고 조정되어야 할 것이다.

논에서의 직파재배를 고려한 필요수량 산정도 이러한 모든 요소들을 고려해야 함은 물론이다. 그러나 직파재배에서는 제2장에서 언급된 바와 같이 전통적인 이앙재배와는 다른 재배방식 및 물관리 방식이 요구되므로 이에 대응할 수 있는 적절한 산정방법이 필요하다. 담수직파의 경우 담수상태에서 파종하게되므로 이앙재배보다 본답 기간이 길어지고 안정적인 입묘율 확보 및 뿌리의 활착을 위해 담수 및 낙수를 되풀이하는 정밀한 물관리가 필요하게 되어 재배관리손실이 증대하게 된다. 또한 건답직파의 경우에도 건답상태에서 파종하고 본엽이 2~3엽기에 달하였을 때 담수하게 되므로 관개초기용수량이 다량 필요하게 된다. 따라서 직파재배를 고려한 필요수량의 산정은 재배방식에 따른 물관리 방식을 적절히 모식화하여 재배관리수량을 산정하는데 중점이 주어져야 한다.

본질적으로 초기 물관리 부분을 제외하면 직파재배에서의 필요수량의 산정은 일반 이앙재배에서의 경우와 같다. 당일의 기상상태에 따라 잠재증발산량을 추정하고 작물계수를 통해 이를 보정하여 실제증발산량을 산출하며 토양조건에 따른 삼투량 및 유효우량을 고려하여 필요수량을 산정하면 된다. 여기에 모식화된 초기 물관리 방식을 고려하여 논에서의 필요수량을 결정한다.

본 장에서는 직파재배에 따른 필요수량을 산정하기 위해 작물 필요수량의 이론적 배경을 살펴보고 물관리 방식의 모식화를 통해 실제모형을 구축하고 이 모형을 통해 필요수량을 산정하는 과정을 서술하고자 한다.

## 5.1.2 논 벼의 증발산량

증발산량의 산정은 잠재증발산량(Potential Evapotranspiration)이 기상 조건에 따라 변하기 때문에 작물의 종류에 따라 실제증발산량과 상이하게 된다. 잠재 및 실제증발산량 과의 비를 작물계수라하며 실제증발산량을 추정하고자 할 때에는 이와같은 차이를 작물계수를 통해 보정해 주어야 한다. 기상자료로 부터 작물 증발산량을 산정하는 방법에 대한 연구는 국내외에서 오래전부터 수행되고 있으며 우리나라에서는 60년 대 이후 Blaney-Criddle식이 주로 사용되어 왔으나 최근에는 Penman식도 많이 이용되고 있는 실정이다.

1980년 후반부터 우리나라에서도 FAO에서 추천한 수정 Penman공식에 이용할 수 있는 여러가지의 기상자료가 관측되기 시작하였고 농업용수 설계에 종사하는 기술자들을 중심으로 Penman공식의 이론적인 배경에 대한 연구가 활발하게 되었으며 이 공식을 사용하는 기회도 많아지게 되었다. 또한 일 단위의 잠재증발산량을 산정하기 위한 Penman공식은 저수지 물관리 연구(Ⅲ)(서울대농업개발연구소, 1987) 및 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량 모의발생(김현영, 1987)연구 결과에서도 실용성이 입증된 바 있다.

일반적으로 Penman식은 수시간에서 1개월 사이의 증발산량의 추정이 가능하며 Blaney & Criddle식은 1개월 이상 장기간의 증발산량 추정에 적합한 것으로 알려져 있다. 본 모형에서는 직파재배에 따른 필요수량의 변화를 규명하는데 있으므로 일 단위 증발산량을 산정하기 위해 Penman식을 적용하도록 하였으며 순별증발산량을 산정하기 위해서는 Penman식과 Blaney & Criddle식을 모두 적용할 수 있도록 하였다.

### 가. 수정 Penman식

이 공식은 Penman(1948)이 발표한 이래 많은 수정공식이 발표되어 왔으며 복합적인 기상요인을 많이 포함하고 있기 때문에 정확성이 높고 일단위 잠재증발

산량을 산정할 수 있어 관계계획 수립에 많이 이용되고 있다. Penman공식은 에너지수지항(energy balance term)과 공기동력항(aerodynamic term)으로 구성된, 이론적으로 유도된 공식으로 여러 복합적인 기상자료가 관측되어 있는 경우에 적용할 수 있다.

Penman공식은 수정된 여러 가지 식들이 있으나 본 모형에서는 Doorenbos & Pruitt (1977, FAO-24)의 수정공식을 적용하였으며 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량 모의발생(김현영, 1987)연구에서 개발된 알고리즘을 적용하였다. 이 공식을 적용하기 위해서는 해당 공식에 의하여 산정된 작물계수가 있어야 하며 본 모형에서는 직파재배의 경우 본 연구에서 수행되고 있는 직파재배 소비수량 시험 결과를 적용하고 일반재배의 경우에는 농업개발연구소(소비수량 산정방법의 정립, 1986)에서 보정된 작물계수를 이용할 수 있을 것이다.

본 모형에 적용된 Penman공식은 다음 식 (5-1) 과 같다.

$$ET_o = C [W \cdot Rn + (1 - W) \cdot f(u) \cdot (e_a - e_d)] \quad (5-1)$$

여기서  $ET_o$  = 잠재증발산량(mm/day),  $W$  = 기온과 관련된 가중계수,  $Rn$  = 순일사량(mm/day),  $f(u)$  = 풍속과 관련된 함수,  $e_a - e_d$  = 평균기온에서의 포화수증기압과 공기의 평균 실제수증기압과의 차,  $C$  = 주야의 기상조건에 따른 효과를 보정하기 위한 조정계수 등이다.

가중계수  $W$ 는 다음 식 (5-2)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$W = \frac{\Delta}{(\Delta + r)} \quad (5-2)$$

여기서  $\Delta$  는 평균기온에 대한 포화수증기압의 구배로서 식 (5-3)과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{de_a}{dT_k} = \frac{d}{dT_k} [\exp(54.879) - (6790.4985/T_k) - 5.02808 \ln(T_k)] \\ &= \left[ \frac{6790.4985/(T_k - 5.0281)}{T_k} \right] \cdot e_a \end{aligned} \quad (5-3)$$

여기서  $e_a$ 는 평균기온에서 공기의 포화수증기압으로서 식 (5-4)로 계산할 수 있으며, 실제 수증기압  $e_d$ 는 상대습도 RH를 이용하여 식 (5-5)로 계산할 수 있다. 여기서  $T_k$ 는 평균기온의 절대온도(=  $T^{\circ}\text{C} + 273.16$ )를 나타낸다.

$$e_a = \exp(54.8799) - (6790.4985/T_k) - 5.02808 \ln(T_k) \quad (5-4)$$

$$e_d = RH \times e_a / 100 \quad (5-5)$$

또한  $r$ 는 온도와 고도에 따른 습도계수(psychrometric constant)는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$r = \frac{0.386(1013 - 0.1055 \cdot EL)}{595 - 0.51 \cdot T} \quad (5-6)$$

여기서 EL은 기상관측소의 해발표고(m), T는 온도( $^{\circ}\text{C}$ )이다.

풍속에 관한 함수  $f(u)$ 는 공기동력항으로서 바람에 의한 증발산량의 영향요소로 작용하며 다음 식 (5-7)과 같이 산정된다.

$$f(u) = 0.27 (1 + U \cdot C_u / 100) \quad (5-7)$$

여기서 U는 높이 2m에서 측정된 풍속(km/day)으로서 2m가 아닐 경우 <표 5-1>과 같이 보정하여야 한다.

<표 5-1> 풍속 보정계수

|                   |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 풍속계 지상높이(m)       | 0.5  | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 3.0  | 4.0  | 5.0  | 6.0  |
| 풍 속 보정계수( $C_u$ ) | 1.35 | 1.15 | 1.06 | 1.00 | 0.93 | 0.88 | 0.85 | 0.83 |

한편 순일사량  $R_n$ 은 태양으로부터 지구에 도달하는 순단파일사량  $R_{ns}$ 에서 지구 복사에 의한 장파복사량  $R_{nl}$ 의 차로써 나타낼 수 있으며, 순일사량은 기상관측소에서 측정되지 않으므로 일사량에서 일조시간, 온도 등의 기상자료로 계산하는 방법을 적용하여야 한다. 순일사량  $R_n$ 은 식 (5-8)과 같이 나타낼 수 있다.

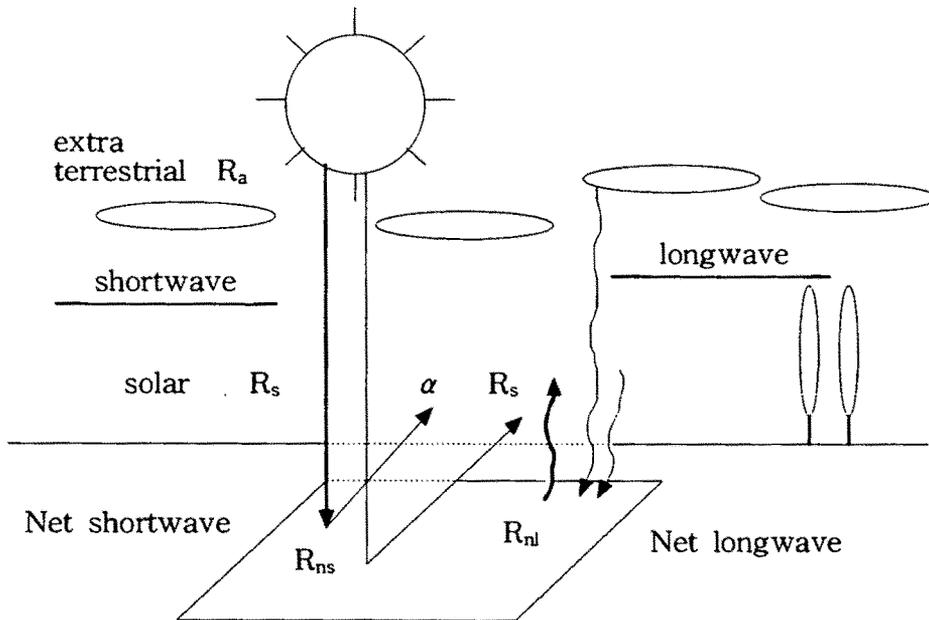
$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (5-8)$$

여기서  $R_{ns}$  및  $R_{nl}$ 은 식 (5-9) 및 식 (5-10)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{ns} = (1 - al) R_s \quad (5-9)$$

$$R_{nl} = f(T) \cdot f(e_d) \cdot f(n/N) \quad (5-10)$$

여기서  $R_s$ 는 측정 일사량,  $al$ 은 알베도(albedo=0.23)이고,  $f(T)$ 는 장파의 흑체반사량,  $f(e_d)$ 는 습도에 대한 산란장파로 계산되는 값,  $f(n/N)$ 는 일조시간대 가조시간의 함수로 계산되는 값이다. 일반적으로 순복사량 산정과 관련된 각 요소는 <그림 5-1>와 같이 나타낼 수 있다.



<그림 5-1> 순복사량 산정의 각 요소

$R_{ns}$ 의 경우 대부분의 기상관측소에서 측정 일사량 자료가 없으므로 Doorenbos & Pruitt(1977)의 제안에 따라 일조시간으로부터 일사량을 계산하도록 하였으며 이는 식 (5-11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{ns} = (1 - al) \cdot [a + b \cdot (n/N)] \times R_a \quad (5-11)$$

여기서  $R_a$ 는 대기권밖의 일사량(extra terrestrial radiation)으로 관측가능 일사량을 나타내며 <표 5-2>로부터 구할 수 있고, a, b는 계수(a=0.25, b=0.5), n/N은 일조시간 대 가조시간의 비로서 n은 기상관측소에서 측정되고 있는 실제 일조시간이며, N은 위도에 따른 일조가능시간을 나타내며 <표 5-3>로부터 구할 수 있다.

한편 장파복사량  $R_{nl}$ 의 각 항은 식 (5-12), 식 (5-13), 식 (5-14)과 같다.

$$f(T) = \varepsilon \cdot T_k^4 \quad (5-12)$$

$$f(e_d) = a_1 + b_1 \sqrt{e_d} \quad (5-13)$$

$$f(n/N) = a_2 + b_2 \cdot (n/N) \quad (5-14)$$

여기서  $\varepsilon$ 는 Stefan-Bolzman상수( $11.71 \times 10^{-8}$  cal/cm<sup>2</sup> · ° K · day)이고  $a_1, b_1$ 은 계수로서 일반적으로 0.39와 -0.05 값을 사용하며  $a_2, b_2$ 는 0.1 과 0.9를 적용하였다. 그러므로 식 (5-10)는 식 (5-15)와 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{nl} = 11.71 \times 10^{-7} \times T_k^4 \times (0.39 - 0.05 \sqrt{e_d}) \times [0.1 + 0.9(n/N)] \quad (5-15)$$

다만 최대상대습도, 일사량, 주간풍속 및 주간풍속/야간풍속의 비(ratio)에 의해 결정되는 보정계수는 고려하지 않는(C=1.0) 것으로 가정하였다.

<표 5-2> 관측가능 일사량(extra terrestrial radiation( $R_a$ ))

(단위 : mm/day)

| 위 도 | 1월  | 2월   | 3월   | 4월   | 5월   | 6월   | 7월   | 8월   | 9월   | 10월  | 11월 | 12월 |
|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 40° | 6.4 | 8.6  | 11.4 | 14.3 | 16.4 | 17.3 | 16.7 | 15.2 | 12.5 | 9.6  | 7.0 | 5.7 |
| 38° | 6.9 | 9.0  | 11.8 | 14.5 | 16.4 | 17.2 | 16.7 | 15.3 | 12.8 | 10.0 | 7.5 | 6.1 |
| 36° | 7.4 | 9.4  | 12.1 | 14.7 | 16.4 | 17.2 | 16.7 | 15.4 | 13.1 | 10.6 | 8.0 | 6.6 |
| 34° | 7.9 | 9.8  | 12.4 | 14.8 | 16.5 | 17.1 | 16.8 | 15.5 | 13.4 | 10.8 | 8.5 | 7.2 |
| 32° | 8.3 | 10.2 | 12.8 | 15.0 | 16.5 | 17.0 | 16.8 | 15.6 | 13.6 | 11.2 | 9.0 | 7.8 |
| 30° | 8.8 | 10.7 | 13.1 | 15.2 | 16.5 | 17.0 | 16.8 | 15.7 | 13.9 | 11.6 | 9.5 | 8.3 |
| 28° | 9.3 | 11.1 | 13.4 | 15.3 | 16.5 | 16.8 | 16.7 | 15.7 | 14.1 | 12.0 | 9.9 | 8.8 |

※ 자료출처 : crop water requirement, FAO paper vol. 24.

<표 5-3> 위도별 일평균 일조가능시간(북반구)

(단위 : hr)

| 위 도 | 1월   | 2월   | 3월   | 4월   | 5월   | 6월   | 7월   | 8월   | 9월   | 10월  | 11월  | 12월  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 50° | 8.5  | 10.1 | 11.8 | 13.8 | 15.4 | 16.3 | 15.9 | 14.5 | 12.7 | 10.8 | 9.1  | 8.1  |
| 48° | 8.8  | 10.2 | 11.8 | 13.6 | 15.2 | 16.0 | 15.6 | 14.3 | 12.6 | 10.9 | 9.3  | 8.3  |
| 46° | 9.1  | 10.4 | 11.9 | 13.5 | 14.9 | 15.7 | 15.4 | 14.2 | 12.6 | 10.9 | 9.5  | 8.7  |
| 44° | 9.3  | 10.5 | 11.9 | 13.4 | 14.7 | 15.4 | 15.2 | 14.0 | 12.6 | 11.0 | 9.7  | 8.9  |
| 42° | 9.4  | 10.6 | 11.9 | 13.4 | 14.6 | 15.2 | 14.9 | 13.9 | 12.6 | 11.1 | 9.8  | 9.1  |
| 40° | 9.6  | 10.7 | 11.9 | 13.3 | 14.4 | 15.0 | 14.7 | 13.7 | 12.5 | 11.2 | 10.0 | 9.3  |
| 35° | 10.1 | 11.0 | 11.9 | 13.1 | 14.0 | 14.5 | 14.3 | 13.5 | 12.4 | 11.3 | 10.3 | 9.8  |
| 30° | 10.4 | 11.1 | 12.0 | 12.9 | 13.6 | 14.0 | 13.9 | 13.2 | 12.4 | 11.5 | 10.6 | 10.2 |
| 25° | 10.7 | 11.3 | 12.0 | 12.7 | 13.3 | 13.7 | 13.5 | 13.0 | 12.3 | 11.6 | 10.9 | 10.6 |

※ 자료출처 : crop water requirement, FAO paper vol. 24.

#### 나. Blaney & Criddle식

Blaney & Criddle식은 우리나라에서 농업용수 개발계획의 증발산량 산정 공식으로 널리 사용되어왔으며 온도와 주간시간 백분을 자료만 있으면 잠재증발산량을 쉽게 계산할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 순 또는 월단위 등의 장기 증발산량 산정에는 적합하나 일단위의 증발산량 산정에는 부적합한 것으로 알려져 있다. 당초 Blaney & Criddle(1950)식은 소비수량 계수(F)를 평균기온과 생육기간 중의 일조시간에 대한 년주간시간 비율로서 산정하도록 유도되었다. 그러나 이는 건조지역에서 사용하기 위해 만들어졌고, 지역성을 고려해야하기 때문에 여러가지 수정식과 상이한 계수들이 발표되었다.

그 중에서 Doorenbos & Pruitt(1977)가 발표한 FAO-24 수정공식이 있으나 이 방법 역시 단기간의 증발산량 산정에 부정확하고 장기간의 값을 산정하기에 알맞게 되어 있으며 또한 지역성을 고려해야만 신뢰성이 높아진다. FAO에서 추천한 공식은 식 (5-16)와 같다.

$$ET_o = C [ P (0.46T + 8) ] \quad (5-16)$$

여기서  $ET_o$ 는 기준작물의 증발산량(mm/day)이며 월 단위로 산정되며 T는 월 단위의 일평균기온(°C)이고 P는 년주간시간에 대한 일평균 주간시간의 백분율(%)을 나타낸다. C는 보정계수로서 최소상대습도( $RH_{min}$ ), 주간시간 및 주간풍속에 의해 결정된다.

이 공식 이외에도 미국 농무성 SCS의 TR-21(1970)에서 당초의 Blaney & Criddle식을 개량하여 발표한 공식이 있다. 이 공식은 온도의 보정을 추가한 것으로 기상자료 중 온도자료에 근거하여 보정한 것이므로 사용하기 쉬우며 증발산량의 값은 월단위에 대한 것을 산정하는데 주로 이용된다. 보정 Blaney & Criddle 식은 식 (5-17)과 같이 주어진다.

$$ET_o = K_t ( 0.46 T + 8.13 ) P \quad (5-17)$$

여기서  $K_t$ 는 온도 보정계수로서 식 (5-18)과 같다.

$$K_t = 0.0311 T + 0.240 \quad (5-18)$$

단, T = 평균기온(°C), P = 주간시간 백분율(%) 으로서 <표 5-4>와 같다.

<표 5-4> 위도별 주간시간 백분율 (북반구)

(단위 : %)

| 위 도 | 1월   | 2월   | 3월   | 4월   | 5월   | 6월   | 7월   | 8월   | 9월   | 10월  | 11월  | 12월  |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 48° | 0.20 | 0.23 | 0.27 | 0.31 | 0.34 | 0.36 | 0.35 | 0.32 | 0.28 | 0.24 | 0.21 | 0.19 |
| 46° | 0.20 | 0.23 | 0.27 | 0.30 | 0.34 | 0.35 | 0.34 | 0.32 | 0.28 | 0.24 | 0.21 | 0.20 |
| 44° | 0.21 | 0.24 | 0.27 | 0.30 | 0.33 | 0.35 | 0.34 | 0.31 | 0.28 | 0.25 | 0.22 | 0.20 |
| 42° | 0.21 | 0.24 | 0.27 | 0.30 | 0.33 | 0.34 | 0.33 | 0.31 | 0.28 | 0.25 | 0.22 | 0.21 |
| 40° | 0.22 | 0.24 | 0.27 | 0.30 | 0.32 | 0.34 | 0.33 | 0.31 | 0.28 | 0.25 | 0.22 | 0.21 |
| 35° | 0.23 | 0.25 | 0.27 | 0.29 | 0.31 | 0.32 | 0.32 | 0.30 | 0.28 | 0.25 | 0.23 | 0.22 |
| 30° | 0.24 | 0.25 | 0.27 | 0.29 | 0.31 | 0.32 | 0.31 | 0.30 | 0.28 | 0.26 | 0.24 | 0.23 |

※ 자료출처 : crop water requirement, FAO paper vol. 24.

### 5.1.3 유효우량의 산정

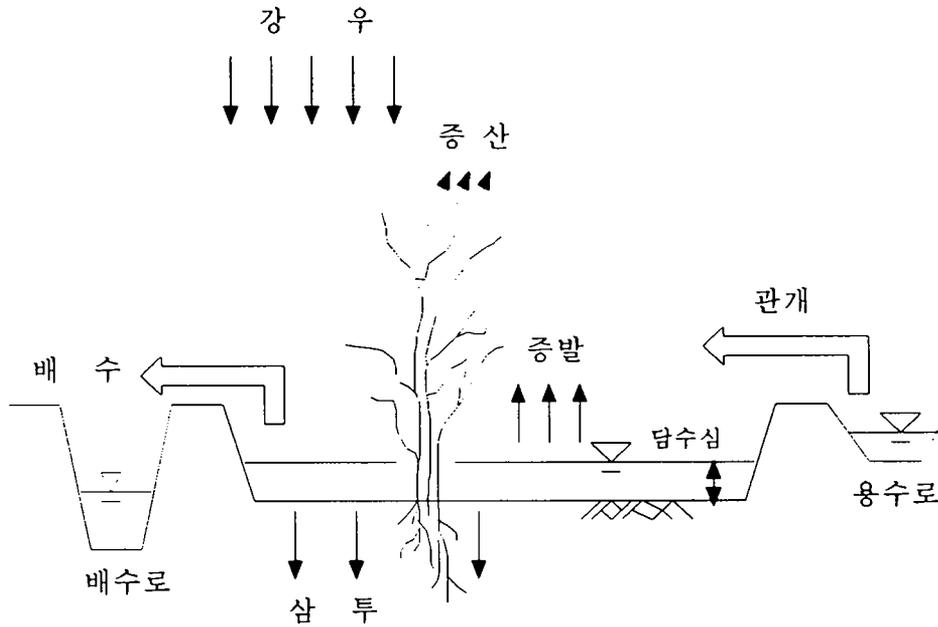
관개기간중에 논에 내린 강우는 그 양에 따라 일부 또는 전부가 논에서 이용되는데, 이와 같이 관개기간중에 논에 남아 이용되는 유효우량(available rainfall)이 내린 빗물의 몇 %가 되는가 하는 문제는 강우량, 강우강도, 지세, 흙의 투수성, 비가 오기전의 토양의 함수량 등에 따라 달라진다. 그러나 논에서의 벼재배는 담수 재배를 원칙으로 하기 때문에 최대 담수심을 결정짓는 논의 물꼬높이, 생육시기별 물관리 방법 등이 가장 주요한 변수가 된다.

일반적으로 논벼의 경우 한 필지의 필요수량은 식 (5-19)과 같이 나타낼 수 있다.(농지개량사업계획설계기준, 관개편, 1980)

$$Req(t) = ET(t) + I - Re(t) \quad (5-19)$$

여기서  $Req(t)$  = 논외의 필요수량,  $ET(t)$  = 증발산량,  $I$  = 일 삼투량,  $Re(t)$  = 유효우량을 나타낸다. 식 (5-19)에서 알 수 있는 바와 같이 기간별 필요수량은 기상상태에 따라 변하는 증발산량과 유효우량의 관계에서 논벼의 생육단계에 따른 시간의 함수로 나타낼 수 있다. 이는 특정시간에서 필요수량이 유효우량의 크기에 따라 변하는 함수임을 의미하며 따라서 유효우량의 크기를 시간의 함수로서 재정의 해야 함을 나타낸다. 시간의 크기는 물꼬높이가 보통 60~80mm 이고 담수심을 유지하며 유효우량은 이 담수심에 기여하는 정도를 나타내므로 일단위가 적당하다.

일 강우량이 물꼬높이 이상이 되면 유효우량은 물꼬까지의 강우량이 되나 전일의 담수심이 물꼬높이를 유지하고 있으면 유효우량은 존재할 수가 없다. 따라서 일별 담수심의 변화가 유효우량을 결정하는 결정적인 변수가 된다. 일별 담수심의 변화는 단일 필지에서의 물수지식을 이용하여야 한다. <그림 5-2>는 이러한 논에서의 물수지 개념을 나타낸 것이다.



<그림 5-2> 논에서의 물수지 개념도

일반적으로 유효우량을 고려한 논에서의 물수지식은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$D(t) = D(t-1) + R_e(t) + Req(t) - U(t) \quad (5-20)$$

여기서  $D(t)$  = t 일의 담수심(mm),  $D(t-1)$  = 전일의 담수심(mm),  $R_e(t)$  = t일의 유효우량(mm),  $Req(t)$  = t일의 관개량(mm),  $U(t)$ 는 당일의 소비수량을 나타낸다.

그러므로 유효우량은 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_e(t) = D(t) - D(t-1) - Req(t) + U(t) \quad (5-21)$$

여기서 당일의 소비수량은  $U(t) = ET + I$  로 나타낼 수 있으며  $ET$ 는 실제증발산량(mm),  $I$ 는 1일간 삼투량(mm/day)을 나타낸다.

그러나 실제 논에서의 담수심의 변화는 당일의 강우량과 필요수량 및 담수심의 관계에서 구해야 하며 이는 가정한 물꼬높이  $D_{max}$  및 상시관리 담수심  $D_{min}$ 에 의해 제한되어 진다. 담수심, 강우량, 필요수량, 물꼬관리의 관계는 다음과 같은 3가지의 경우를 생각할 수 있다.

①  $D_{\max} \leq D(t-1) + Ra(t) - U(t)$  이면

$$Req(t) = 0 \text{ 이고 } Rep(t) = D_{\max} - D(t-1) + U(t) \quad (5-22)$$

이다. 여기서  $Ra(t)$  = t일의 강우량이며  $Rep(t)$  = t일의 유효가능우량(potential effective rainfall)으로서 유효강우량  $Re(t)$ 는 다음 관계에서 구할 수 있다. 즉,

$$Ra(t) \geq Rep(t) \text{ 이면 } Re(t) = Rep(t) \quad (5-23)$$

$$Ra(t) < Rep(t) \text{ 이면 } Re(t) = Ra(t) \quad (5-24)$$

②  $D_{\min} \leq D(t-1) + Ra(t) - U(t) < D_{\max}$  이면

$Req(t) = 0$  이고 유효우량은 (5-23) 및 (5-24)과 같다.

③  $D_{\min} > D(t-1) + Ra(t) - U(t)$  이면

$Req(t) = D_{\max} - D(t-1) - Ra(t) + U(t)$ 와 같고 유효우량은 식 (5-23) 및 식 (5-24)과 같다.

그러나 일강우량의 크기가 5.0mm 이하인 경우에는 벼잎에 차단되어 실제논에 서는 기여하지 않는 무효강우로 보는 것이 타당하며 어떠한 경우에도 유효우량의 크기는 최대담수심  $D_{\max}$ 에 그날의 소비수량을 더한 양을 초과하지 못한다. 그러므로 일본 농무성(1978)에서는 단순히 일강우량의 크기에 따라 다음과 같은 식을 적용하기도 한다.

$$Ra(t) \leq 5.0\text{mm/day} \text{ 이면 } Re(t) = 0.0\text{mm}$$

$$5.0\text{mm/day} < Ra(t) \leq 80 \text{ mm/day} \text{ 이면 } Re(t) = 0.8 Ra(t)$$

$$80 \text{ mm} < Ra(t) \text{ 이면 } Re(t) = 64.0\text{mm} \quad (5-25)$$

본 모형에서는 5.0mm/day 이하를 무효우량으로 보고 담수심과 필요수량의 관계에서 유효우량을 산정하도록 한다.

#### 5.1.4 재배관리용수량과 필요수량

논 벼의 필요수량은 수원공에서의 공급측면을 고려할 때 당일의 기상조

건에 의한 것, 용수로의 조건, 포장조건 및 작물의 성장단계에 따라 필요한 수량으로 분류할 수 있다. 기상조건에 의한 것으로는 앞 절에서 살펴 본 작물의 증발산량 및 유효우량이 있을 것이며 용수로의 조건으로는 최저 방류량, 수로손실이 있고 포장조건으로는 삼투량, 관리손실, 담수심, 관개면적, 물꼬높이 등이 있다. 그러나 무엇보다도 중요한 것은 작물의 성장단계에 따라 논 벼의 재배에 필요한 수량으로서 여기에는 이앙재배의 경우 못자리 용수 및 이앙용수가 있다. 이와같은 필요수량은 벼 재배에 필요한 별도의 용수량이므로 재배관리용수량으로 부를 수 있다.

이앙재배의 경우 논에 모를 내려면 모를 심을 수 있을 만큼 물을 공급해야 한다. 논을 써리고 모를 심기까지에 필요한 물을 이앙용수라하며 못자리를 정지하는 기간으로부터 이앙하기 전까지에 소요되는 물을 못자리용수라 한다. 우리나라에서 이앙용수는 이앙기간중에 142.0mm를 공급하도록 하고 있으며 못자리용수는 못자리 정지기간 4일에 140.0mm가 필요하고 못자리 기간은 증발산량을 산정하도록 하고 있다.

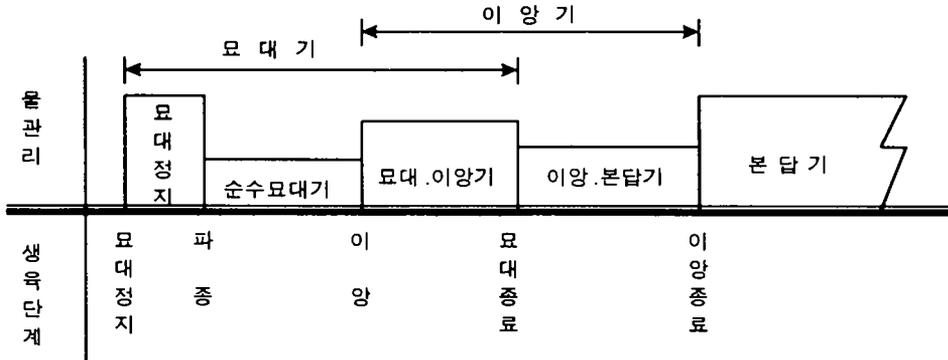
직파재배에서의 재배관리용수량은 더욱 중요하다. 직파재배는 초기 생육단계가 매우 취약하므로 초기 생육의 안정에 필요한 물관리 용수가 필요할뿐더러 담수직파의 경우 본답 정지용수도 필요하게 된다. 건답직파의 경우에도 건답재배에서 담수재배로 전환하기 위해서는 이앙재배에서의 정지용수와는 다른 다량의 물이 필요하게 된다. 그러므로 보다 일반적인 필요수량 산정 모형을 구축하기 위해서는 직파재배에서도 표준적인 물관리 방법과 건답직파 초기재배용수 및 담수직파 본답 정지용수에 대한 개념을 정립해 두어야 한다.

### 가. 이앙재배

이앙재배에 있어서 재배관리용수량을 구성하는 요소로는 묘대기간, 이앙일수, 본답기간 등이 있다. 이앙일수는 벼의 재배체계, 써리거나 또는 이앙을 위한 작업의 능률 등에 따라 정하며, 일반적으로 15~20일 정도이다. 이앙일수는 필요

수량에 영향을 미치므로 현지의 실정에 따라 합리적으로 결정하여야 한다.

이양재배에 있어서 특정 지역에서의 초기 용수공급을 위한 물관리는 일반적으로 <그림 5-3>과 같이 개념화할 수 있다.



<그림 5-3> 이양재배 초기 물관리 개념도

이러한 초기 물관리 개념도는 단일 필지에 대해서 보다 한 지역에서의 물관리 개념을 의미하며 한 필지를 대상으로 하였을 경우 묘대정지와 본답정지가 일 단위로 이루어 지지만 한 지역을 대상으로 하였을 경우에는 매일 그 지역의 일정면적씩을 순차적으로 이양일수 또는 묘대정지 기간동안 그 지역 전체의 씨레질, 또는 이양이 완료됨을 의미한다.

각 생육기간별에 따른 필요수량은 다음과 같이 산정할 수 있다.

① 묘대정지기는 삼투량 과 못자리 정지용수가 필요하며 필요수량은

$$Req(t) = ( I + WR_n / D_n ) \times A_n \quad (5-26)$$

으로 나타낼 수 있으며, 여기서 I = 일 삼투량(mm/day),  $WR_n$  = 못자리 정지용수량(mm),  $D_n$  = 못자리 정지일수,  $A_n$  = 묘대면적(ha)을 나타낸다. 못자리 정지용수량  $WR_n$ 은 한 지역에서는 전체 묘대면적  $A_n$ 에 대해 못자리 정지기간  $D_n$  동안에 등분하여 공급하는 것으로 계획할 수 있다.

② 순수묘대기는 묘가 자라는 기간이므로 삼투량과 증발산량을 필요로하며 필요수량은

$$Req(t) = ( I + ET_n(t) ) \times A_n \quad (5-27)$$

으로 나타낼수 있다. 여기서  $ET_n(t)$ 는 기간별 증발산량을 나타낸다.

③ 묘대·이양기는 지역에 따라 이양이 시작되고 묘대기가 끝나지 않았기 때문에 아직도 묘대용수를 공급해주어야 하는 경우이다. 이때의 필요수량은

$$Req(t) = [ ( I + ET_n(t) ) \times A_n + (WR_t / D_t / 2 ) \times A_t ] \quad (5-28)$$

이다. 여기서  $WR_t$  = 이양용수량,  $A_t$  = 이양재배 면적,  $D_t$  = 이양일수를 나타내며 묘대·이양기간은 이양일수의 1/2를 적용할 수 있다.

④ 이양·본답기는 아직도 일부지역에서 이양이 계속되고 있으며 이양이 완료된 지역에서는 본답 용수를 공급해주어야 할 경우이며 이때의 필요수량은

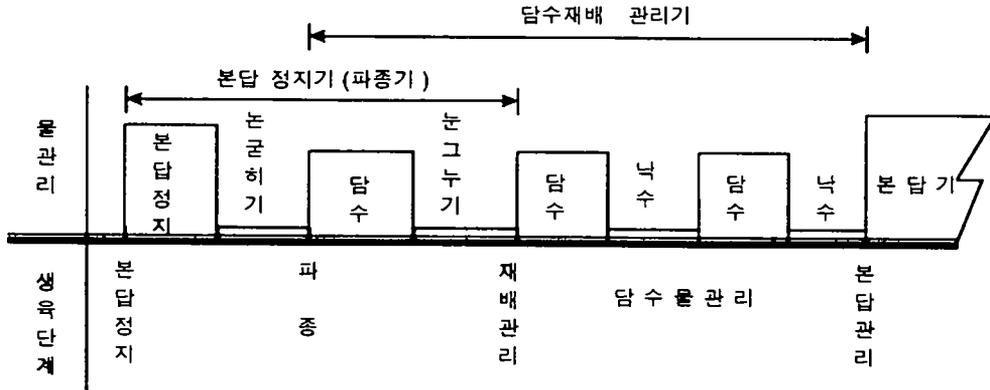
$$Req(t) = [ I + ET_n(t) + (WR_t / D_t / 2 ) ] \times A_t \quad (5-29)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 본답기의 경우에는 앞 절에서 언급한 바와 같이 필요수량은 증발산량과 삼투량의 합으로 나타낼 수 있다.

#### 나. 담수직파재배

담수직파의 경우 보다 정밀한 초기 물관리가 요구된다. 담수직파 파종방법 중 무논골뿌림은 우리나라의 가장 일반적인 파종방법으로 담수직파의 표준으로 자리잡고 있다. 이 방법에 근거한 담수직파재배는 기계이양을 할 수 있을 정도로 정지를 한 후 완전배수를 하여 두부 또는 컷볼 정도로 굳었을 때(논 굳히기) 전용 파종기를 이용 3~4cm 깊이로 골을 내며 파종하는 것으로 파종후 피 등의 잡초발생을 억제하고 새의 피해를 줄여 입묘율 향상을 위해 심수관개를 한다. 그렇지만 장기간의 심수관개는 오히려 입묘율의 향상에 방해가 되며 출아 및 뿌리의 활착을 돕기위해 논에 실금이 갈 정도로 강낙수(논 그누기)를 실시한다. 또한 본엽이 3엽기가 되는 본답기까지는 담수와 낙수를 반복하여 뿌리의 활착을 도와야 한다.

그러므로 담수직파에서는 특정 직파재배구역에서의 초기 용수공급을 위한 물관리는 일반적으로 <그림 5-4>과 같이 개념화할 수 있다.



<그림 5-4> 담수직파 초기 물관리 개념도

<그림 5-4>에서 보는 바와 같이 담수직파의 초기 물관리는 크게 본답정지기 (파종기)와 담수재배를 위한 물관리로 나눌 수 있다. 또한 담수직파에서는 파종을 위한 논균히기와 출아, 뿌리의 활착을 위한 눈그누기 및 답수와 낙수의 간단관개를 위한 물관리 측면을 고려해 주어야 한다.

그러므로 각 물관리 단계별 필요수량은 다음과 같이 산정할 수 있다.

① 본답정지기는 삼투량과 정지.씨레용수가 필요하며 필요수량은

$$Req(t) = ( I + WR_w / D_w ) \times A_w \quad (5-30)$$

과 같이 계산할 수 있다. 여기서  $WR_w$  = 본답 정지용수(mm),  $D_w$  = 본답정지기간,  $A_w$  = 담수직파 재배면적(ha)를 나타내고 있다.

② 논 균히기, 눈그누기 및 낙수기간은 단일 필지에 대해서는 실제 용수를 공급하지 않는 것으로 한다. 그러므로 필요수량은  $Req(t) = 0$ 으로 나타낼 수 있다. 그러나 직파재배 물관리시의 답수기에는 삼투량과 증발산량 및 답수와 낙수의 반복에 따른 용수의 손실을 보전하기 위한 담수직파 관리용수량을 공급해주어야 한다.

그러므로 이때의 필요수량은

$$Req(t) = ( I + ET_n(t) + DW_w / D_w ) \times A_w \quad (5-31)$$

과 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $DW_w$  = 담수직과 관리용수량(mm),  $D_w$  = 담수직과 물관리 기간을 나타낸다. 본답기의 필요수량은 앞 절에서 언급한 바와 같이 증발산량과 삼투량의 합으로 나타낼 수 있다.

#### 다. 건답직과

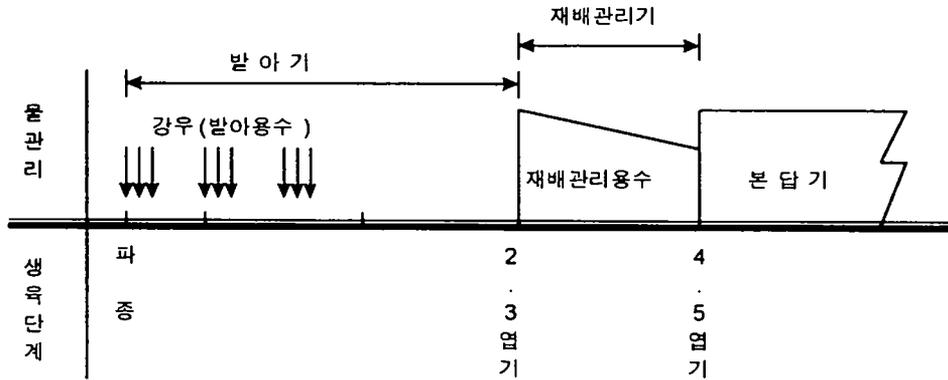
건답직과에서는 과종후 건답상태에서 발아하게되며 본엽이 2~3엽기에 달하였을때 최초로 관개하게 된다. 그러나 건답상태에서 관개하게되므로 초기용수량의 수요가 과대하게 되며 이러한 과다한 감수심이 생기는 이유는 작토층의 횡방향 침투량이 증가하기 때문이다. 최초 관개후 감수심의 크기는 지속적으로 감소하여 어느 시기에는 평형을 되찾게 되며 이러한 평형기간은 토양에 따라 달라지나 일반적으로 7~30일 정도인 것으로 알려져 있다.

따라서 건답직과에서는 초기용수공급시 감수심을 알고 이에 대한 필요수량을 추가로 공급해주어야 한다. 건답직과의 초기 물관리 개념도는 <그림 5-5>와 같이 나타낼 수 있다.

발아기에는 별도의 용수공급은 필요하지 않다. 이때에는 보통 관개보다 배수가 문제가 되며 발아가 극히 부진할 경우 고랑에 발아용수를 공급하기도 하지만 관개는 극히 일시적이고 제한적이므로 이는 고려하지 않는다. 초기 재배관리용수는 삼투량과 증발산량 및 건답직과 관리용수량으로 나타낼 수 있으며 다음식 (5-32)와 같다.

$$Req(t) = ( I + ET_n(t) + DW_d / D_d ) \times A_d \quad (5-32)$$

여기서  $DW_d$  = 건답직과 초기용수량,  $D_d$ 는 초기용수량 공급기간,  $A_d$ 는 건답직과 재배면적을 나타내며 초기용수량은 토양별 감수심을 추정하여 산정할 수 있다.



<그림 5-5> 건답직파 초기 물관리 개념도

## 5.2 모형의 구성

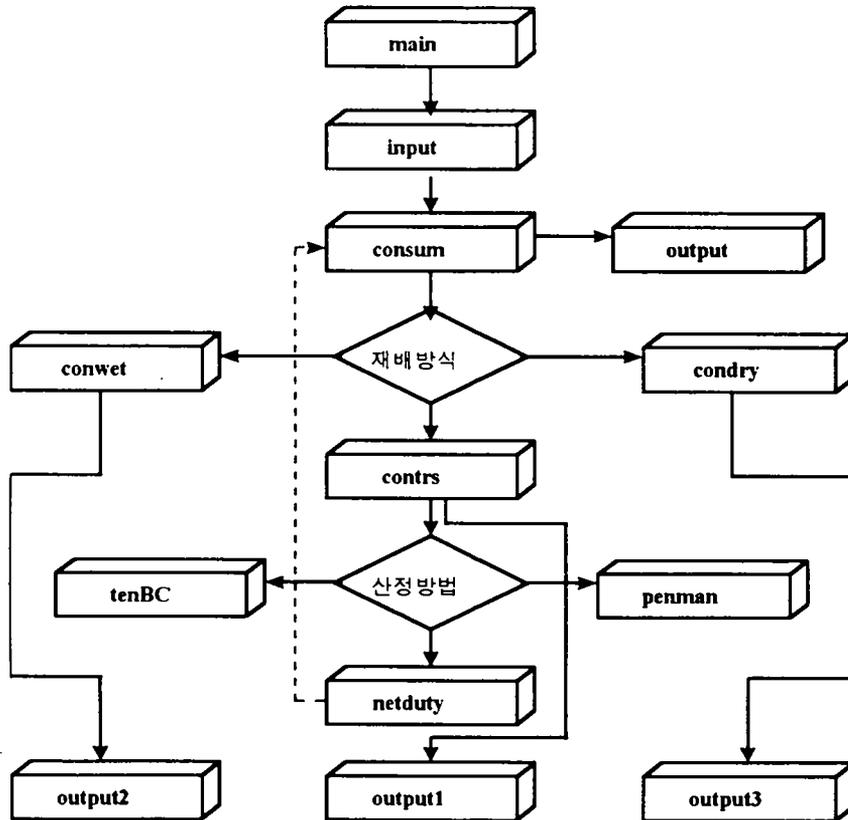
### 5.2.1 모형의 구조

직파재배 필요수량 산정 모형은 산정방법별, 재배방식별로 증발산량을 산정하고 전체관개구역에서 필요수량을 합산하게 된다. 필요수량은 일별과 순별로 산정할 수 있으며 일별의 경우 Penman식을 적용 증발산량을 산정해야 하며, 순별의 경우 Blaney & Criddle식 과 Penman식을 적용하여 산정할 수 있다. 다만 Penman식을 적용할 경우 일별 증발산량을 산정하여 순별로 합산하는 방식에 의한다.

필요수량 모형에는 여러가지 부모형들이 포함되어 있다. 각 부모형은 입력과 출력을 위한 것, 산정방법별 계산을 위한 것으로 나눌수 있다. 필요수량 산정 모형에서는 필요한 자료를 읽어들이고 각 재배방식별 산정 모형인 CONTRS, CONWET, CONDRY에서 산정방법에 따라 Penman식과 Blaney & Criddle식을 호출하여 잠재 증발산량 및 실제증발산량을 산정하고 NETDUTY 서브루틴에서는 유효우량과 담수심을 계산하게 된다.

혼합재배는 재배양식별 관개면적에 의해 결정되며 전체 관개면적에 대한

총 필요수량은 CONSUM 서브루틴에서 합산되고 출력할 수 있다. 필요수량 산정 모형의 구조는 <그림 5-6>과 같다.



<그림 5-6> 필요수량 산정 모형의 구조

<그림 5-6>에서 보는 바와 같이 INPUT 서브루틴에서는 모형의 각종 제어변수, 옵션과 기상자료, 작부시기, 작물계수 등의 입력자료를 읽어 들이며 CONSUM 서브루틴은 입력옵션에 따라 재배방식 및 산정방법을 결정하고 필요한 하위 루틴을 호출하게 되는 필요수량 모형의 중심역할을 한다. 또한 각 재배방식별 산정

내역을 종합하여 관리하고 필요한 자료를 출력한다.

한편 CONTRS는 이양재배의 필요수량, CONWET는 담수직과 필요수량, CONDRY는 건답직과 필요수량을 각각 산출하게 되는데 각 루틴은 산정방법에 따라 Penman 및 Blaney & Criddle식에 의해 작물 증발산량을 산정하고 NETDUTY 서브루틴에서 유효수량 및 소비수량을 결정한다. 또한 출력 옵션에 따라 연도별, 재배양식별 필요수량 산정내역을 출력하게 된다.

## 5.2.2 입력자료

필요수량을 산정하기 위한 입력자료에는 기상자료, 관개면적, 포장조건에 관한 자료, 작부시기, 작물계수 등의 자료가 필요하다. 또한 해당 기상관측소의 위도 및 관측소의 해발높이, 풍속계의 지상높이에 관한 자료도 Penman식에 의한 증발산량을 산정하기 위해 입력되어야 한다.

### 가. 기상자료

기상자료에는 Blaney & Criddle식에 의해 잠재증발산량을 산정하기 위해 필요한 것과 Penman식에 필요한 것으로 나눌 수 있다. Blaney-Criddle식의 경우 식 (5-17)에서 보는 바와 같이 일별평균온도( $^{\circ}\text{C}$ ) 자료만 필요하지만, Penman식은 식 (5-1)~(5-15)에서 보는 바와 같이 평균기온( $^{\circ}\text{C}$ ), 상대습도(%), 일평균 풍속(m/s), 일조시간(hr)의 자료가 필요하다. 순일사량은 수면일사량( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) 관측자료가 있으면 식 (5-9)에 의해 계산 가능하나 본 모형에서는 식 (5-11)과 같이 일조시간 및 일조가능시간의 비에 의해 계산토록 하였다.

### 나. 작부시기 및 작물계수

작부시기 및 작물계수는 재배양식별, 산정방법별, 지역별로 입력된다. 작물계수의 경우 재배양식은 이양재배와 직파재배로 구분되며, 산정방법은 Penman식과 Blaney & Criddle식으로 구분되고 지역별은 중부와 남부로 구분적용 하도록 한다.

직파재배의 경우 제4장의 직파재배 소비수량 시험결과로 나타난 산정방법별, 지역별 작물 계수를 적용할 수 있을 것이며 이앙재배의 경우 작물 소비수량 산정방법의 정립(농어촌진흥공사, 서울대 농업개발연구소, 1986)연구에서 보정된 작물계수를 적용할 수 있다.

작부시기는 중·남부별로 각 재배양식의 값을 적용하며 직파재배의 경우는 제3장 직파현황 및 물관리 특성분석에서 나타난 결과를 적용할 수 있으며 이앙재배의 경우는 농업용수개발 필요수량 산정기준(농어촌진흥공사, 1980)에 나타난 지방별 지방시기를 적용할 수 있다. 작부시기는 이앙재배의 경우 묘대기간, 이앙기간, 본답기간 등의 자료가 입력되며 직파재배는 파종기간에 대한 자료가 입력된다. 다만 이앙일수 및 직파재배 파종기간 등은 현지 여건에 따라 변경될 수 있다.

#### 다. 포장관리 자료

포장조건 및 수로조건에 대한 자료로는 삼투량(mm/day), 수로손실(%), 최대담수심(mm), 상시관리 담수심(mm) 등에 대한 자료가 필요하다. 삼투량은 작물 소비수량의 구성요소이며 최대담수심 및 최소담수심은 단일필지 논 물수지에 의한 유효수량 및 필요수량을 산정하기 위한 자료이다. 수로손실 자료는 관리용수량을 산정하여 수원공에서 총 필요수량을 결정하게 된다.

### 5.2.3 출력자료

필요수량 모형에 의한 출력자료는 산정방법에 따른 재배방식별 필요수량과 혼합재배지역에서의 재배방식별 필요수량을 합산한 전체 관개구역에서의 필요수량 자료가 있다. 재배방식별 필요수량 출력자료는 원하는 출력년도의 생육기별 필요수량 산정 내역 및 연도별 요약자료가 있으며 각 출력자료에는 잠재증발산량, 실제증발산량, 소비수량, 강우량, 담수심, 유효수량, 순용수량, 조용수량의 산정 내역이 있다. <그림 5-7>은 담수직파 재배지구의 필요수량 산정내역의 연도별 요약자료를 출력한 예를 보여주고 있다.

| -----                          |                    |                    |              |             |              |              |              |                                |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| 담수직파구역 답필요수량 산정 요약 (By Penman) |                    |                    |              |             |              |              |              |                                |
| -----                          |                    |                    |              |             |              |              |              |                                |
| 년도                             | 잠재<br>증발산량<br>(mm) | 실제<br>증발산량<br>(mm) | 소비수량<br>(mm) | 강우량<br>(mm) | 유효우량<br>(mm) | 순용수량<br>(mm) | 조용수량<br>(mm) | 필요<br>수량<br>(천m <sup>3</sup> ) |
| -----                          |                    |                    |              |             |              |              |              |                                |
| 1979                           | 579.4              | 698.0              | 1492.9       | 1026.5      | 655.2        | 729.2        | 911.4        | 911.4                          |
| 1980                           | 540.7              | 635.7              | 1420.1       | 788.9       | 718.2        | 709.7        | 887.1        | 887.1                          |
| 1981                           | 578.7              | 693.1              | 1475.2       | 1001.4      | 461.3        | 849.7        | 1062.1       | 1062.1                         |
| 1982                           | 617.9              | 736.2              | 1518.1       | 700.2       | 326.0        | 1066.1       | 1332.7       | 1332.7                         |
| 1983                           | 604.0              | 717.9              | 1496.7       | 688.4       | 643.5        | 887.5        | 1109.4       | 1109.4                         |
| 1984                           | 608.5              | 730.3              | 1518.8       | 971.8       | 490.9        | 967.8        | 1209.8       | 1209.8                         |
| 1985                           | 604.3              | 724.8              | 1518.2       | 886.8       | 535.7        | 778.0        | 963.5        | 963.5                          |
| 1986                           | 564.6              | 666.2              | 1453.4       | 856.8       | 566.7        | 824.0        | 1031.0       | 1031.0                         |
| 1987                           | 576.9              | 676.5              | 1463.2       | 1183.5      | 663.1        | 649.3        | 811.6        | 811.6                          |
| 1988                           | 626.8              | 749.2              | 1534.9       | 683.6       | 356.4        | 1142.6       | 1428.2       | 1428.2                         |
| 1989                           | 662.2              | 791.7              | 1565.8       | 679.6       | 477.4        | 1034.2       | 1292.7       | 1292.7                         |
| 1990                           | 532.5              | 644.6              | 1435.1       | 1675.3      | 665.9        | 622.5        | 778.1        | 778.1                          |
| 1991                           | 604.4              | 713.0              | 1491.5       | 977.3       | 554.1        | 945.8        | 1182.2       | 1182.2                         |
| 1992                           | 592.5              | 702.8              | 1486.2       | 762.9       | 488.9        | 880.8        | 1101.0       | 1101.0                         |
| 1993                           | 580.8              | 687.1              | 1468.4       | 886.7       | 520.6        | 827.0        | 1033.8       | 1033.8                         |
| 1994                           | 681.5              | 828.9              | 1604.5       | 699.3       | 494.4        | 1054.0       | 1318.4       | 1318.4                         |
| 1995                           | 634.5              | 758.0              | 1535.8       | 1512.9      | 511.9        | 859.4        | 1074.3       | 1074.3                         |
| 1996                           | 595.3              | 714.9              | 1496.9       | 718.9       | 527.5        | 947.6        | 1184.5       | 1184.5                         |
| 1997                           | 661.3              | 797.6              | 1572.8       | 1047.9      | 489.7        | 914.6        | 1143.2       | 1143.2                         |
| 평균                             | 605.8              | 722.9              | 1506.2       | 939.9       | 535.2        | 872.9        | 1091.1       | 1091.1                         |

<그림 5-7> 담수직파와 필요수량 산정 요약(예)

혼합재배방식에 대한 필요수량의 출력은 각 재배양식별 필요수량 산정 결과를 합산해 출력하게 된다. 각 재배방식은 재배방식별 관개구역이 있을 경우에만 필요수량을 산정하게 되며 출력내용에는 재배양식별 필요수량이 mm단위와 천m<sup>3</sup> 단위로 출력하게 된다. 혼합재배를 하는 관개구역에서의 연도별 필요수량 산정 요약자료의 출력 예는 <그림 5-8>과 같다.

| 용설지구 답필요수량 산정 요약 (By Penman) |              |                            |              |                            |              |                            |                                 |               |
|------------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------------|---------------|
| 년도                           | 이양재배<br>(mm) | 용수량<br>(천 m <sup>3</sup> ) | 담수직파<br>(mm) | 용수량<br>(천 m <sup>3</sup> ) | 건답직파<br>(mm) | 용수량<br>(천 m <sup>3</sup> ) | 전체 답필요수량<br>(천 m <sup>3</sup> ) | 답필요수량<br>(mm) |
| 1978                         | 865.5        | 865.5                      | 1231.6       | 1231.6                     | 995.0        | 995.0                      | 3092.1                          | 1030.7        |
| 1979                         | 705.7        | 705.7                      | 911.4        | 911.4                      | 836.2        | 836.2                      | 2453.4                          | 817.8         |
| 1980                         | 604.3        | 604.3                      | 887.1        | 887.1                      | 735.7        | 735.7                      | 2227.1                          | 742.4         |
| 1981                         | 794.9        | 794.9                      | 1062.1       | 1062.1                     | 924.1        | 924.1                      | 2781.1                          | 927.0         |
| 1982                         | 1110.6       | 1110.6                     | 1332.7       | 1332.7                     | 1260.0       | 1260.0                     | 3703.3                          | 1234.4        |
| 1983                         | 864.5        | 864.5                      | 1189.4       | 1189.4                     | 989.4        | 989.4                      | 2963.2                          | 987.7         |
| 1984                         | 895.7        | 895.7                      | 1209.0       | 1209.0                     | 1020.0       | 1020.0                     | 3125.6                          | 1041.9        |
| 1985                         | 838.9        | 838.9                      | 963.5        | 963.5                      | 973.1        | 973.1                      | 2775.5                          | 925.2         |
| 1986                         | 784.3        | 784.3                      | 1031.0       | 1031.0                     | 914.0        | 914.0                      | 2729.3                          | 909.8         |
| 1987                         | 489.5        | 489.5                      | 811.6        | 811.6                      | 611.4        | 611.4                      | 1912.5                          | 637.5         |
| 1988                         | 1062.9       | 1062.9                     | 1428.2       | 1428.2                     | 1188.6       | 1188.6                     | 3679.7                          | 1226.6        |
| 1989                         | 907.4        | 907.4                      | 1292.7       | 1292.7                     | 1031.4       | 1031.4                     | 3231.5                          | 1077.2        |
| 1990                         | 541.8        | 541.8                      | 778.1        | 778.1                      | 660.3        | 660.3                      | 1980.2                          | 660.1         |
| 1991                         | 816.3        | 816.3                      | 1182.2       | 1182.2                     | 901.0        | 901.0                      | 2900.3                          | 966.0         |
| 1992                         | 888.8        | 888.8                      | 1101.0       | 1101.0                     | 1015.3       | 1015.3                     | 3005.2                          | 1001.7        |
| 1993                         | 814.1        | 814.1                      | 1033.8       | 1033.8                     | 938.1        | 938.1                      | 2786.0                          | 928.7         |
| 1994                         | 1044.2       | 1044.2                     | 1318.4       | 1318.4                     | 1168.7       | 1168.7                     | 3531.3                          | 1177.1        |
| 1995                         | 792.3        | 792.3                      | 1074.3       | 1074.3                     | 937.0        | 937.0                      | 2803.5                          | 934.5         |
| 1996                         | 892.5        | 892.5                      | 1184.5       | 1184.5                     | 1018.8       | 1018.8                     | 3095.8                          | 1031.9        |
| 1997                         | 988.9        | 988.9                      | 1143.2       | 1143.2                     | 1114.2       | 1114.2                     | 3246.2                          | 1082.1        |
| 평균                           | 830.4        | 830.4                      | 1091.1       | 1091.1                     | 959.3        | 959.3                      | 2880.8                          | 960.3         |

<그림 5-8> 혼합재배방식의 필요수량 산정 요약(예)

### 5.3 모형의 적용

#### 5.3.1 자료의 적용

직파재배 필요수량 모형은 5.2에서 살펴본 바와 같이 재배방식별 필요수량 및 혼합재배구역에서의 필요수량을 산정할 수 있다. 모형에 의한 계산 결과는 실제지구를 선정하고 필지단위의 관개수량을 측정하여 비교하므로써 모형의 적합성 여부를 판단할 수 있다.

본 장에서는 수원관측소의 기상자료를 이용하여 각 재배방식별 필요수량을 산정

하고 단일재배방식 및 혼합재배방식에서의 필요수량의 변화를 비교 검토하기로 한다. 또한 경기도 농촌진흥원 내에 설치된 포장용수량 시험포장에서 측정된 재배방식별 관개수량과 필요수량 산정모형에 의해 계산된 결과를 비교하여 모형의 적합성 여부를 검토하기로 한다.

포장용수량 시험포장에서는 3개의 이앙재배 시험구와 1개씩의 담수직파 및 건답직파 시험포장이 있어 각 시험포장에 대해 실제 관개수량, 담수심 및 배수량을 측정함으로써 각 재배방식별로 필요수량을 산정한 바 있다. 각 재배방식별 필요수량의 변화를 검토하기 위해 모형에 적용된 입력자료는 다음과 같다.

### 가. 작부시기

모형에 적용된 작부시기는 <표 5-5>에서 보는 바와 같으며 이앙재배의 경우에는 묘대기, 이앙기 및 본답기로 구분 적용하였으며 직파재배에서는 물관리 특성조사 결과 나타난 중부지방의 파종기를 적용하였다. 직파재배 물관리 기간은 파종기에 따라 결정되어 진다.

<표 5-5> 작부시기의 적용

| 구 분  | 이 앙 재 배   |           |           | 담수직파      | 건답직파      | 비 고 |
|------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
|      | 묘 대 기     | 이 앙 기     | 본 답 기     | 파 종 기     | 파 종 기     |     |
| 작부시기 | 4.17~5.31 | 5.21~6.10 | 6.11~9.11 | 5. 1~5.31 | 4.20~5.20 |     |

### 나. 작물계수

직파재배에 대한 작물계수는 제4장 직파재배 소비수량 시험 결과로 나타난 중부지방의 작물계수를 적용할 수 있다. 그러나 본 연구에서 산정된 산정방법별, 지방별 작물계수는 증발산량의 측정기간이 3개년에 불과하고 지역적으로도 중부 지방에서는 수원, 남부지방에서는 대구로 국한되어 있어 실무에 곧 바로 적용하기 어려워 제4장의 <표 4-27>과 같이 "작물 소비수량 산정기준 정립 연구"(농어촌진

홍공사, 서울대 농업개발연구소, 1986)결과로 나타난 작물계수와 금회 산정된 작물계수값을 이용하여 <표 5-6>과 같은 산정방법별 작물계수를 적용하도록 하였다.

<표 5-6> 작물계수의 적용

| 구 분   | 4 월  | 5 월  |      |      | 6 월  |      |      | 7 월  |      |      | 8 월  |      |      | 9 월  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       | 하순   | 상순   | 중순   | 하순   | 상순   |
| Peman | 0.56 | 0.56 | 0.56 | 0.75 | 0.95 | 1.06 | 1.09 | 1.17 | 1.39 | 1.53 | 1.58 | 1.47 | 1.42 | 1.32 |
| B-C   | 0.44 | 0.44 | 0.44 | 0.68 | 0.71 | 0.72 | 0.73 | 0.75 | 0.77 | 0.94 | 1.03 | 0.90 | 0.86 | 0.78 |

#### 다. 포장관리 자료

포장의 최대담수심은 60.0mm를 적용하고 상시관리담수심은 0.0mm를 적용하였다. 최대담수심은 포장에서 관리될 수 있는 최대수심을 의미하므로 최대물꼬높이가 되며 상시관리수심은 담수심이 이 이하로 내려갈 경우 관개해야할 최저수심을 의미한다. 포장에서의 삼투량은 토양의 물리적 특성을 고려하여 4.0mm를 적용하였다.

#### 라. 직파 물관리 자료

담수직파의 본답 정지용수량은 이앙재배에서와 같이 140.0mm를 적용하였으며 눈그누기 등의 물관리에 필요한 재배관리용수량은 40.0mm를 적용하였다. 건답 직파재배에서는 초기 재배관리용수량으로 100.0mm를 공급하는 것으로 하였으며 20일 후에는 일반 이앙답과 같은 물관리 방법이 적용되도록 하였다.

### 5.3.2 모형의 적합성 검토

일반적으로 관개계획을 수립하기 위해서는 농업용수의 합리적인 개발 방안과 최적의 이용방법 모두를 고려 해야 한다. 저수지 등의 시설규모를 결정하기 위해서는 수리시설물을 모의운영 할 수 있는 모의조작 모형이 필요하며 용수의 합리적인 이용 및 배분을 위해서는 물관리 모형을 이용할 수 있을 것이다.

물관리 모형은 조작자가 저수지나 관개구역의 현재 상황을 파악하여 용수공급 계획을 수립하고 조작 기간동안의 기상조건, 유입량 그리고 필요수량과 같은 공학적요소 뿐만아니라 관개방식이나 인습 등과 같은 공학외적인 요인도 고려하여 용수수급을 조절하거나 방류량을 결정하는 의사결정 과정을 지원하는 수단이라고 말할 수 있다.

반면 모의조작 모형은 최적의 규모를 결정하기 위해 시설규모를 가정하고 모의조작 기간동안의 공학적인 요소와 공학외적인 요소를 고려하여 방류량을 결정하고 저수위나 저수량의 거동을 살펴봄으로서 저수지 규모의 적정성 여부를 판단하게 된다. 그러므로 저수지나 관개구역의 현재의 상황을 정확하게 판단해야 할 필요성 보다는 예측되는 변수들을 개념화하고 이를 일반화 시킬 필요가 있다.

금회 개발된 필요수량 산정 모형은 저수지 등의 관개용 수리시설물에 대한 모의운영 분석을 통한 시설규모를 결정하기 위한 부분모형이므로 직접적인 물관리 모형에 적용하기는 어렵다. 그렇지만 조작기간이 동일하다면 조작모형에 의해 모의발생된 필요수량 및 실제 물관리를 통해 눈에 관개되는 수량은 비교적 일치 하여야 한다. 따라서 금회 개발된 필요수량 모형에 의해 모의발생되는 재배방식별, 생육기별 필요수량이 실제 포장에서 실측된 필요수량과 어떻게 다른지 제4장의 포장용수량 시험결과와 비교 검토하여 모형의 적합성 여부를 판단하기로 한다.

경기 진흥원 포장용수량 시험포장에서는 3개의 이양재배 시험구와 1개씩의 담수 및 건답직파 시험포장이 있어 각 시험포장에 대해 실제 관개수량, 담수심 및 배수량을 측정함으로써 각 재배방식별로 필요수량을 산정한 바 있다.

<표 5-7>은 '97년도의 필요수량 모형에 의해 산정된 재배방식별 필요수량 산정 결과를 구성요소별로 구분한 것이다. 여기에서는 경기진흥원의 시험자료와 비교하기 위한 것이므로 수로손실을 고려하지 않는 순용수량만을 계산하였으며 시험구가 작고 서로 인접해있으며 관개 파이프 및 배수웨어에 의해 정밀 물관리를 할 뿐만아니라 인접 포장에서 다른 시험재배를 하고 있어 지하수위가 높을 것이므

로 실측관개수량과는 차이가 있을 것으로 예상된다.

<표 5-7> 재배방식별 '97년 필요수량 산정 결과

(단위 : mm)

| 재배방식<br>구 분 | 이앙재배    | 건답직파    | 담수직파    | 비 고  |
|-------------|---------|---------|---------|------|
| 필요수량        | 1,188.8 | 1,224.1 | 1,441.7 | 소비수량 |
| 유효수량        | 481.1   | 465.4   | 604.0   |      |
| 관개수량        | 707.7   | 758.7   | 837.7   |      |

재배방식별 필요수량 산정결과는 건답직파에서는 1,224.1mm, 담수직파는 1,441.7mm로 나타났으며 유효수량을 제외한 관개해야 할 수량은 건답이 758.7mm, 담수가 837.7mm임을 알 수 있다. 이를 이앙재배와 비교해 보면 필요수량의 경우 건답직파에서는 2.7%, 담수에서는 21.3%가 증가한 양이다. 관개기간중의 유효수량을 비교하면 건답에서는 이앙에 비하여 3.2%가 적게 산출되었으며 담수에서는 25.5% 많게 산출되었다.

또한 유효수량을 제외한 수원공에서 공급해야할 관개수량은 이앙재배에 비하여 건답에서는 7.2%, 담수에서는 18.4%가 증가한 것이다. 이와같은 자료를 살펴 볼 때 담수직파에서는 본답에서의 관개기간이 길기 때문에 총 소비수량에서 유효수량이 차지하는 비중이 높게되며 봄 가뭄이 심할 경우 관개해야 할 수량은 더욱 증가할 것으로 예상할 수 있다. 이를 제4장의 포장용수량 시험결과와 비교해보면 <표 5-8>와 같다.

<표 5-8> 필요수량 산정결과 비교

(단위 : mm)

| 구 분  | 이앙재배    | 건답직파    | 담수직파    | 비 고 |
|------|---------|---------|---------|-----|
| 실측자료 | 900.3   | 917.6   | 1,097.7 |     |
| 모형계산 | 1,188.8 | 1,244.1 | 1,441.7 |     |
| 오 차  | 288.5   | 323.5   | 344.0   |     |

실측자료와 모형에 의한 계산결과를 비교해 보면 상당한 차이가 나타나고 있다. 그러나 전체적인 재배유형별 필요수량의 비율에는 차이가 없음을 알 수 있다. 실측의 경우 이양재배에 비하여 건답에서는 1.9%, 담수에서는 21.9%가 증가하였으나 모형에 의한 계산결과는 각각 2.1%와 21.3%로 나타나 '97년의 경우 실측자료에서나 모형에서 모두 같은 비율로 용수가 더 필요함을 알 수 있다.

이러한 이유는 앞서서도 언급하였듯이 논에서의 침투량 특성때문으로 보여진다. 모형에서는 시험포장의 물리적 특성을 고려하여 4.0mm/일의 침투량이 있는 것으로 계산하였으나 실제포장에서는 침투량이 거의 나타나고 있지 않음을 알 수 있다. 이는 포장용수량 시험포장은 시험구가 작고 인접에 많은 이양 시험포구가 있으며 전체 포장이 평탄하며 본래 단일 필지였던 것을 임의로 시험포구로 분할하였기 때문에 전체 필지의 지하수위가 높아져 시험포구에서의 침투를 억제하기 때문으로 풀이된다.

또한 실측자료와 계산결과의 차이가 나는 이유중의 하나는 관개중에 논에 내린 강우에 대한 유효강우의 비가 다르기 때문인 것으로 나타났다. <표 5-9>은 실측자료와 모형계산결과에 대한 유효강우를 비교한 결과이다.

<표 5-9> 실측 및 모형계산에서의 유효강우 비교

(단위 : mm, %)

| 재배방식  |      | 이양재배* | 건답직파* | 담수직파    | 비 고       |
|-------|------|-------|-------|---------|-----------|
| 구 분   |      |       |       |         |           |
| 강 우 량 |      | 760.0 | 851.7 | 1,039.7 | * 본답기만 적용 |
| 실 측   | 유효강우 | 579.6 | 546.0 | 646.9   | **담수기만 적용 |
|       | 유효율  | 76.3  | 64.1  | 62.2    |           |
| 모 형   | 유효강우 | 476.1 | 465.4 | 604.0   |           |
|       | 유효율  | 62.6  | 54.6  | 58.1    |           |

<표 5-9>에서 알 수 있는 바와 같이 실측자료에서는 이양재배의 경우 본답기중에 내린 총 강우 760.0mm에 대하여 유효우량은 579.6mm로서 유효율이 76.3%에

달하나 모형에서는 62.6%로 나타나 많은 차이가 있다. 또한 실측자료의 경우 다른 재배유형과 비교하였을 경우에도 유효율이 비교적 높게 나타나고 있다. 강우에 대한 유효율의 차이는 실측자료에서는 배수웨어의 높이를 임의로 조작하여 담수심을 높여 강우를 눈에 가두는 효과가 크기 때문으로 풀이된다.(제4장 포장 용수량 시험결과 참조)

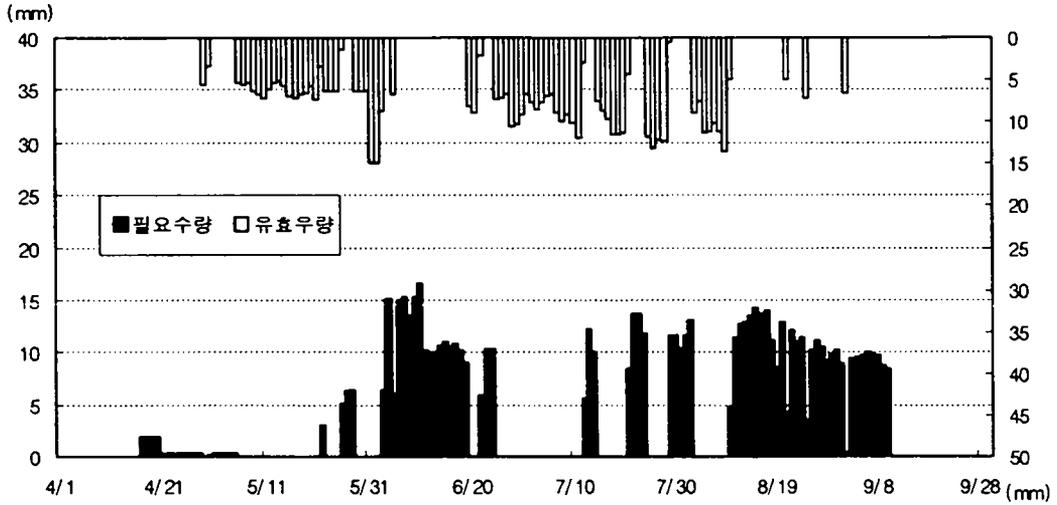
이상의 결과로 볼 때 실측자료와 모형에 의한 계산결과는 필요수량의 총량에서는 일치하고 있지 않으나 용수량의 증가 비율은 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 이러한 근본적인 이유는 시험포장의 물리적 특성에 기인하는 것으로 본 모형을 이용하여 직파재배에 따른 필요수량의 변화를 추정할 수 있을 것으로 생각된다.

직파재배를 고려한 필요수량 산정 모형은 앞서서도 언급하였듯이 물관리를 위한 모형이라기 보다는 시설물 규모를 결정하기 위한 모의조작 모형의 필요수량을 산정하기 위한 부분 모형이므로 포장용수량 시험에서 처럼 절수관개를 하는 단일 시험구의 물관리의 모든 요소를 재현할 수는 없으며 단순히 생육기별 필요수량을 비교할 수밖에 없다. 이러한 점을 고려한다면 본 모형은 이상의 결과에서도 알 수 있듯이 재배유형별 필요수량의 변화를 비교적 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.

### 5.3.3 재배방식별 필요수량

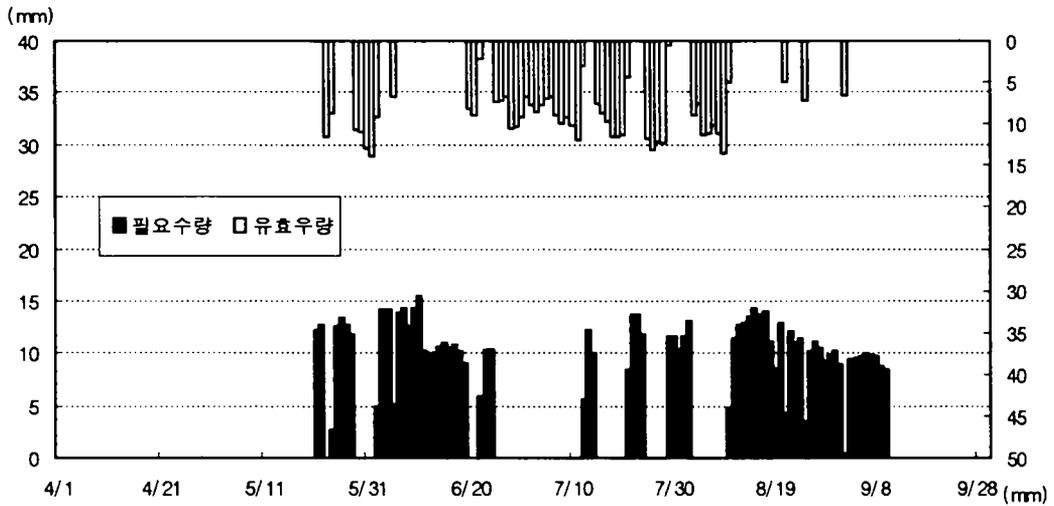
본 연구에서 개발된 필요수량 산정 모형에 의하여 재배방식별 필요수량을 산정할 수 있다고 판단되므로 5.3.1의 입력자료에 의거 재배방식별 필요수량을 산정하고 재배방식의 변화가 필요수량에 어떠한 영향을 미치는지를 검토하였다.

Penman식에 의해 산정된 1997년도의 각 재배방식별 일별 필요수량의 변화는 <그림 5-9>, <그림 5-10>, <그림 5-11>과 같이 나타낼 수 있다. 이는 재배방식에 따른 필요수량의 변화를 시기별로 비교해보고 필요수량과 유효우량의 관계를 나타내고자 한 것이다.



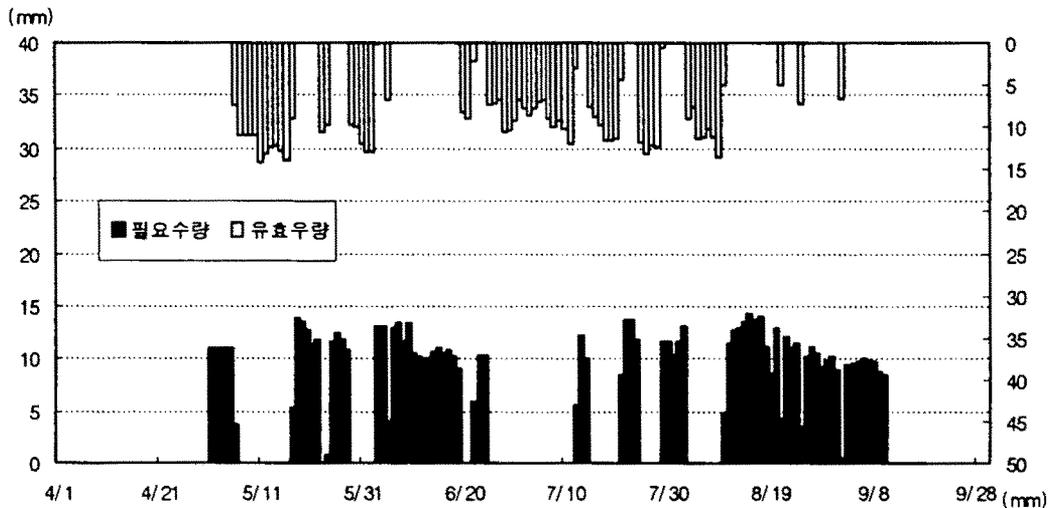
<그림 5-9> 이앙재배의 일별 필요수량의 변화(Penman)

<그림 5-9>에서 보는 바와 같이 이앙재배의 경우 4월 중순의 묘대정지용수 부터 용수를 공급하나 본격적으로 용수가 필요한 시기는 이앙기가 시작되는 5월 20일경 부터이며 이앙기와 본답기가 겹치는 6월 초순에 가장 많은 용수수요를 보이고 있음을 알 수 있다.



<그림 5-10> 건답직파의 일별 필요수량의 변화(Penman)

건답직파에서는 건답 초기용수를 공급하게되는 5월 중순 이후부터 용수수요가 발생하며 이시기에 용수수요도 최대에 달하는 것을 알 수 있다. 이때 강우가 없을 경우에는 용수관리에 많은 어려움이 예상된다.



<그림 5-11> 담수직파의 일별 필요수량의 변화(Penman)

담수직파의 경우는 본답 파종시기인 5월 초순부터 본격적인 용수수요가 발생하며 관개량도 많음을 알 수 있다. 이때는 유효강우도 적은 시기여서 실제 저수지에서 공급해야할 공급량도 많게 되어 소규모 저수지의 경우 급격한 저수율 저하가 예상된다. 6월 중순 이후에는 이앙재배와 같은 용수수요 경향을 보여 주고 있다.

일반적으로 필요수량은 증발산량 및 삼투량과 상기 그림에서 보는 바와 같이 논에서의 유효우량의 유무에 따라 그 크기가 결정된다. 그러므로 재배방식별 필요수량은 장기간의 계산결과를 비교함으로써 변화 정도를 파악할 수 있다. <표 5-10> 및 <표 5-11>은 수원관측소 기상자료를 이용하여 1970년도부터 1997년까지 28개년 동안 Penman식 및 B-C식으로 계산한 전 생육기간에 대한 필요수량 산정내역의 연도별 평균치를 나타내고 있다.

<표 5-10> 재배방식별 필요수량 변화(Penman)

(단위 : mm)

| 구 분  | 잠재증발산량 | 실제 증발산량 | 소비수량     | 유효수량   | 순용수량  | 필요수량  |
|------|--------|---------|----------|--------|-------|-------|
| 이앙재배 | 613.3* | 670.7*  | 1,440.4* | 598.6* | 588.0 | 735.0 |
| 건답직파 | 479.3  | 594.0   | 1,151.0  | 510.3  | 640.7 | 800.8 |
| 담수직파 | 564.5  | 641.7   | 1,369.8  | 570.9  | 798.9 | 998.6 |

\* 이앙재배 묘대기간의 산정값 포함.

<표 5-11> 재배방식별 필요수량 변화(B-C)

(단위 : mm)

| 구 분  | 잠재증발산량 | 실제 증발산량 | 소비수량     | 유효수량   | 순용수량  | 필요수량  |
|------|--------|---------|----------|--------|-------|-------|
| 이앙재배 | 817.0* | 566.9*  | 1,347.4* | 601.0* | 515.3 | 644.1 |
| 건답직파 | 659.5  | 518.7   | 1,075.7  | 513.6  | 562.2 | 702.7 |
| 담수직파 | 758.4  | 550.5   | 1,287.4  | 574.2  | 713.2 | 891.5 |

\* 이앙재배 묘대기간의 산정값 포함.

<표 5-10> 및 <표 5-11>에서 알 수 있는 바와 같이 Penman식에 의해 산정된 경우 건답직파에서는 9.0%, 담수직파에서는 35.8%의 용수량이 이앙재배 보다 더 필요한 것으로 나타났다. B-C식의 경우에 있어서도 건답직파는 9.1%, 담수직파에서는 38.4%의 용수량이 더 필요함을 알 수 있다. 이와같이 재배방식별로 필요수량이 차이가 나는 것은 재배방식별로 생육기간이 다르고 물관리 방식이 달라지게 되므로 이에따라 증발산량 및 유효수량도 변하기 때문이다. 그러나 이와같은 용수량의 증가값은 절대적일 수 없다. 모의발생기간에 따라 변화폭이 달라질 수 있으며 논에서의 삼투량이 달라지게 되면 소비수량의 절대값이 달라지게되고 이에따라 논에서의 물수지에 의한 유효수량값도 달라지기 때문이다.

이러한 결과를 제2장의 <표 2-4>의 농업과학기술원의 벼 재배방식별 관개용수량 자료와 비교해보면 동 자료에서는 건답직파의 경우 이앙재배에 비해 19.1%,

담수직파에서는 50.7%의 용수수요가 증가한다고 했으나 금회 분석에서는 이 보다도 10%정도 용수수요가 감소되는 것으로 나타났다. 이러한 차이가 나는 이유는 금회 분석이 기상자료와 토양조건 등을 고려하여 일별로 모의발생한 것으로 실제에 근접한 결과로 보여지기 때문이다.

이상의 결과를 종합해 볼 때 건답직파에서는 10%내외, 담수직파에서는 30~40%의 필요수량의 증가가 예상되며 이러한 변화폭은 지역에 따른 기상조건 및 포장의 물리적 특성을 고려하여 결정해야 함을 알 수 있다.

### 5.3.4 혼합재배 방식의 필요수량

일반적으로 저수지나 양수장의 설계지구에서 전체 관개구역에서 동일한 재배방식을 공유하기는 어렵다. 벼 재배농가의 재배방식에 대한 기호가 다를뿐만 아니라 직파재배를 계속할 경우 건답직파의 경우에는 논의 지균이 고르지 못하게 되고 잡초의 발생이 많아지게 되며 또한 3년 이상의 연작을 하게될 경우 앵미(Red rice)가 발생하여 쌀의 품질이 떨어지기 때문이다. 실제 경작자를 대상으로 조사한 결과도 같은 재배방식을 오래 지속할 경우 병충해 방제, 잡초발생, 물관리 등에 예상하지 않은 많은 문제점이 드러나기 때문에 다시 이양재배를 하다 직파재배를 실시하는 경우도 많았다. 그러므로 관개계획을 수립할 경우에는 단일재배방식보다는 혼합재배 방식을 검토하는 것이 타당할 것이다.

혼합재배방식에 따른 필요수량의 변화를 검토하기 위해 수원 기상관측소 기상자료를 이용하여 직파재배 비율을 여러 가지로 가정하고 전체 지구에서의 필요수량을 산정하였다. 전체 관개구역은 100ha이며 직파비율에 따라 재배방식별 관개면적이 결정되도록 하였고 수로손실은 20%, 기타 자료는 5.3.1의 자료의 적용내용과 같다. 혼합방식에서의 혼합재배 비율에 따른 필요수량의 변화는 <표 5-12>와 같으며 잠재증발산량은 Penman식에 의해 산정하였다.

<표 5-12> 혼합재배방식의 필요수량 변화(Penman)

| 혼합재배 비율(%) |     |     | 이앙재배  |       | 건답직파  |       | 담수직파  |       | 전체 필요수량 |       |
|------------|-----|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| 이앙         | 건답  | 담수  | mm    | 천m'   | mm    | 천m'   | mm    | 천m'   | mm      | 천m'   |
| 100        | 0   | 0   | 735.0 | 735.0 | -     | -     | -     | -     | 735.0   | 735.0 |
| 80         | 10  | 10  | "     | 588.0 | 800.8 | 80.1  | 998.6 | 99.9  | 768.0   | 768.0 |
| 70         | 15  | 15  | "     | 514.5 | "     | 120.1 | "     | 149.8 | 784.4   | 784.4 |
| 50         | 25  | 25  | "     | 367.5 | "     | 200.2 | "     | 249.7 | 817.4   | 817.4 |
| 30         | 35  | 35  | "     | 220.5 | "     | 280.3 | "     | 349.5 | 850.3   | 850.3 |
| 20         | 40  | 40  | "     | 147.0 | "     | 320.3 | "     | 399.4 | 866.8   | 866.8 |
| 10         | 45  | 45  | "     | 73.5  | "     | 360.4 | "     | 449.4 | 883.3   | 883.3 |
| 0          | 50  | 50  | -     | -     | "     | 400.4 | "     | 499.3 | 899.7   | 899.7 |
| 0          | 100 | 0   | -     | -     | "     | 800.8 | -     | -     | 800.8   | 800.8 |
| 0          | 0   | 100 | -     | -     | -     | -     | "     | 998.6 | 998.6   | 998.6 |

계산결과 전체 관개구역 100ha에 대하여 이앙재배만을 고려할 경우에는 735.0mm (735.0천m')의 관개용수량이 필요하나 건답과 담수의 비율이 동일하다고 가정하고 20%의 직파를 시행한다고 했을 경우 필요수량은 768.0mm로서 4.5%가 증가하였고, 직파면적이 30%인 경우에는 6.7%, 직파면적이 50%인 경우에는 11.2%의 필요수량이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 직파비율이 80%인 경우에는 17.9%, 직파비율이 90%인 경우에는 20.2%의 용수가 더 필요하게 되며 전 관개구역에 대해 담수와 건답이 동일 비율로 재배된다면 22.4%, 건답직파만을 실시한다면 9.0%, 담수직파만을 실시한다면 35.8%의 필요수량이 증가함을 알 수 있다.

이상의 결과를 살펴볼 때 담수직파면적이 확대 될 때 용수량의 증가폭이 가장 커지게 되며 그 비율은 최대 30% 내외가 될 것으로 추정된다. 또한 건답직파에서는 용수증가의 폭은 담수직파에 비해 크지 않으며 최대 10% 내외가 될 것으로 추정되며 혼합재배를 할 경우 최대 15~20%의 용수증가가 예상된다. 이는 혼합재배를 실시하되 직파비율이 30~70%에 달하게 될 경우이다. 물론 담수직파 재배 비율이 높아질수록 용수수요는 증가하게 된다.

'97년 현재 전국 평균 직파재배비율은 10.4%이며 지역별 또는 수원공별로는 최대 25%에 달하는 지역도 있다. 그러나 제3장의 수원공별 직파현황 자료를 참고할 경우 대규모 직파지역에서는 건답직파가 주류를 이루므로 현재의 혼합재배지역에서는 용수증가가 5% 내외이므로 심각한 문제점으로 대두되고 있지 않는 실정이다. 그렇지만 향후 직파재배방식이 무인 비행기를 이용한 대규모 담수표면산파방식으로 변하게 될 것으로 예상하는 전문가들도 많으므로 직파재배에 따른 농업용수의 증가 문제는 심도있게 검토되어야 할 것이다.

## 5.4 단위용수량 산정

### 5.4.1 용수로 설계용수량

용수로 같은 수로구조물의 통수단면은 벼 생육기간중 필요한 생육기별 최대용수량을 통과시킬 수 있는 단면으로 설계하는 것이 보통이다. 작물이 물을 가장 많이 필요로 하는 시기는 일반적으로 작물의 성장이 최고로 왕성하여 증발산량이 최대가 되는 시기이거나 썩레질 용수나 이양용수를 공급하는 시기가 된다. 그러므로 설계용수량은 이를 상호 비교하여 결정하게 된다.

이와 같이 관개수량이 가장 많이 필요한 시기를 최대용수시기라 하고, 이 최대용수시기에 필요로 하는 용수량을 최대용수량이라 한다. 최대용수량은 일반적으로 유효우량을 고려하지 않고 최대용수시기의 소비수량을 기준으로 하여 산정한다.

일반적으로 설계용수량은 단위용수량을 결정하고 이에 관개면적을 고려하여 산정하므로 설계용수량을 결정하기 위해서는 먼저 단위용수량을 알아야 한다. 최대용수시기의 최대용수량을 특히 단위용수량이라 한다. 다시 말해서 계획기준 연도의 최대용수시기에 단위면적에 대한 단위 시간당 소요되는 계획용수량으로 용수로 설계의 기준이 되는 최대용수량을 단위용수량이라고 말할 수 있다.

본 직파재배를 고려한 필요수량 모형에서는 재배방식별 증발산량을 산정할 수

있으므로 이를 이용하여 재배방식별로 단위용수량을 결정할 수 있다. 단위용수량 산정 모형에서는 직파재배 필요수량 산정 모형과 입력자료 및 필요수량 산정 모형의 계산결과를 공유할 수 있도록 되어 있으며 일별 증발산량 산정 결과에 의한 일별 단위용수량을 재배방식별로 산정할 수 있으므로 혼합재배방식에서의 단위용수량을 비교 검토할 수 있다.

### 가. 단위용수량의 산정

현행 용배수로를 설계하기 위한 단위용수량의 산정기준은 이앙재배에 국한되어 있으며 본답 정지용수나 이앙용수를 공급하게 되는 이앙말기에 나타나는 최대용수량이나 관개기간중의 작물의 증발산량에 의해 나타나는 관개기 최대용수량을 상호 비교하여 결정하도록 되어있다.

현행기준에서는 단위용수량을 산정하기 위한 최대용수시기는 다음과 같이 구분하여 적용하고 있으며 각 생육기별 최대용수량은 각각 식 (5-33), (5-34), (5-35) 및 (5-36)와 같다.

가) 씨레용수량( $q_1$ )

$$q_1 = \frac{D_p}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-33)$$

나) 이앙기 관리용수량( $q_2$ )

$$q_2 = \frac{E_t + P_t}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-34)$$

다) 이앙기 최대용수량( $q_3$ )

$$q_3 = \frac{(n-1)/n \times (E_t + P_t) + D_p/n}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-35)$$

라) 본답기 최대 관리용수량( $q_4$ )

$$q_4 = \frac{E_{pt} + P_p}{8.640 \times d \times (1 - L/100)} \quad (5-36)$$

여기서  $D_p$  = 이양용수심(mm),  $E_t$  = 이양기의 1일간 증발산량,  $P_t$  = 이양기의 1일간 삼투량,  $E_{pt}$  = 본답기 순별 최대증발산량,  $P_p$  = 본답기 10일간의 삼투량,  $L$  = 수로손실률,  $n$  = 이양일수를 나타낸다.

#### 나. 설계 용수량

용수지선 및 용수지거의 설계용수량은 위의 생육기별 단위용수량에 각 용수로의 지선별 지배면적을 고려하여 결정하며 현행 설계에 적용하고 있는 지배면적별 용수량 산정기준 및 지배면적의 구분은 각각 식 (5-37), (5-38), (5-39) 및 (5-40)과 같다.<농어촌진흥공사 설계 27201-1964('88.2.1)호>

가) 지배면적이 5ha 미만인 경우

$$Q = A_p \times q_1 \quad (5-37)$$

나) 지배면적이 5ha - 50ha 미만인 경우

$$Q = 5 \times q_1 + (A_p - 5) \times q_2 \quad (5-38)$$

다) 지배면적이 50ha - 100ha 미만인 경우

$$Q = (Q_2 - Q_1)/50 \times (A_p - 50) + Q_1 \quad (5-39)$$

여기서  $Q_2 = 100 \times q_3$ ,  $Q_1 = 5 \times q_1 + 45 \times q_2$  로 계산한다.

라) 지배면적이 100 ha 이상인 경우

$$Q = A_p \times q_3 \quad (5-40)$$

여기서  $A_p$  = 지배면적을 나타내며,  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  및  $q_4$ 는 각각 생육기별 단위용수량을 나타내고 있다. 지배면적이 100ha 이상인 간선수로의 경우 이양기 최대용수량( $q_3$ )와 본답기 최대관리용수량( $q_4$ )중 큰 값을 적용하도록 하고 있다.

## 5.4.2 직파재배 단위용수량

직파재배에서는 이앙재배에서와 같은 묘대기가 생략되고 본답에 바로 파종하게 되므로 본답에서의 초기 재배방식별 물관리방법을 고려하여 단위용수량을 결정하여야 한다.

담수직파는 무경운 직파를 제외하고는 무논골뿌림재배나 담수표면산파 방식 모두 본답을 정지하고 씨레질을 해야한다. 그러므로 담수직파의 경우는 근본적으로 이앙재배의 단위용수량 산정방법과는 차이가 없다. 그러나 담수직파가 지역적으로 편중되어 있어 씨레용수 수요가 집중적으로 발생할 수 있으며 초기 물관리시 눈그누기나 중간낙수를 위해 담수와 배수를 해야하기 때문에 이로인한 용수량의 변화를 고려해야 한다.

그러므로 담수직파에서는 단위용수량을 산정하기 위한 최대용수시기를 본답 정지기와 본답관리기로 구분하고 각 시기별 최대용수량을 산정하여 한다. 각 생육기별 단위용수량은 다음 식 (5-41), (5-42), (5-43)과 같이 나타낼 수 있다.

가) 본답 정지(씨레)용수량( $q_1$ )

$$q_1 = \frac{D_p}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-41)$$

나) 본답 정지기 최대용수량( $q_2$ )

$$q_2 = \frac{(n-1)/n \times (E_t + P_t) + D_p/n + M/n}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-42)$$

다) 본답기 최대 관리용수량( $q_3$ )

$$q_3 = \frac{E_t + P_t}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-43)$$

여기서  $D_p$  = 본답 정지용수(mm),  $E_t$  = 각 생육기간별 최대 1일 증발산량,  $P_t$  = 각 생육기별 1일간 삼투량,  $L$  = 수로손실률,  $n$  = 본답 정지일수를 나타내며,  $M$  =

담수 적과 초기 물관리에 따른 용수량 (mm)을 나타내는 것으로서 현지여건 및 적과방식을 고려하여 적용여부를 결정할 수 있다.

건답직과는 씨레질을 하지 않기 때문에 씨레질용수 또는 본답 정지용수가 필요없지만 그 대신 건답상태에서 본답으로 전환하기 위한 초기 담수시 다량의 관개용수가 필요하게 된다. 이와같은 건답초기 관리용수량은 일반적으로 벼의 본엽이 3~4엽이 되었을 때 관개하게 되며 초기 관리용수량은 씨레질을 하지 않기 때문에 논 바닥 및 논둑을 통한 침투수가 많아 다량의 물이 소비되는 것이 특징이다. 그러므로 단위용수량 산정시 초기 용수량의 변화에 대한 고려가 있어야 하며 건답직과는 특히 집단적으로 재배하는 경향이 있으므로 담수적기에 자유로이 담수할 수 있는 용수호가 설계되도록 해야 한다. 건답직과에서는 다음 식 (5-44), (5-45), (5-46)과 같이 단위용수량을 산정할 수 있다.

가) 초기 물관리용수량( $q_1$ )

$$q_1 = \frac{D_p}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-44)$$

나) 초기 물관리기 최대용수량( $q_2$ )

$$q_2 = \frac{(n-1)/n \times (E_t + P_t) + D_p/n}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-45)$$

다) 본답기 최대 관리용수량( $q_3$ )

$$q_3 = \frac{E_t + P_t}{8,640 \times (1 - L/100)} \quad (5-46)$$

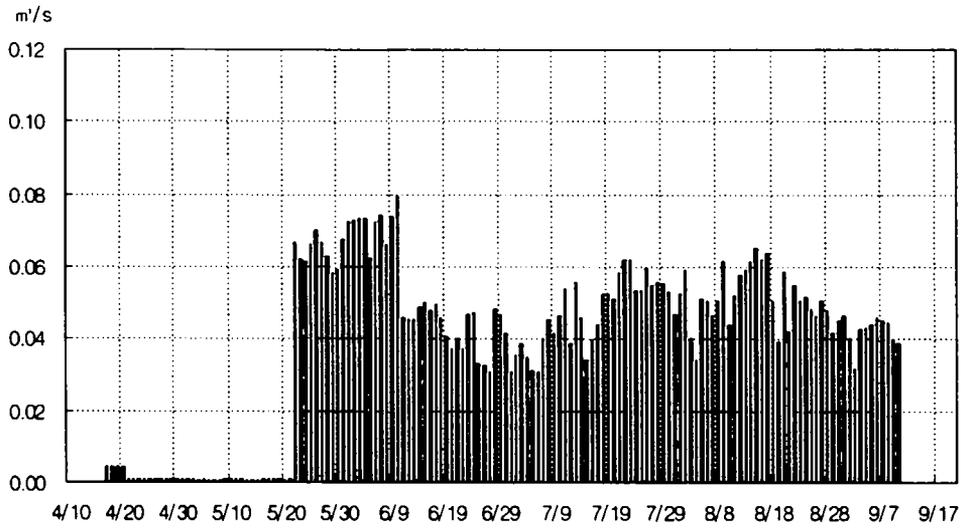
여기서  $D_p$  = 초기 물관리용수량(mm),  $E_t$  = 각 생육기간별 최대 1일 증발산량,  $P_t$  = 각 생육기별 1일간 삼투량,  $L$  = 수로손실률,  $n$  = 초기 물관리 기간을 나타내며 논 토양의 특성을 고려하여 적용해야 한다.

### 5.4.3 단위용수량의 변화

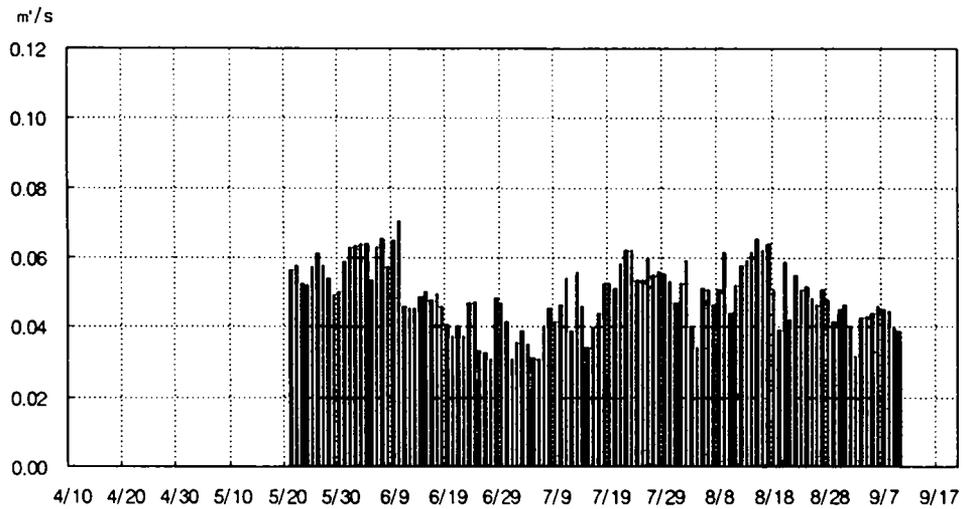
일반적으로 저수지나 양수장 설계지구에서 전체 관개구역이 통일된 재배방식을 공유하기는 어렵다. 직파재배는 연작을 할 경우 앵미(Red rice)가 발생하나 잡초 발생이 많아지므로 이를 방지하기 위해 농촌진흥청 등 전문기관에서는 일정기간 동안 재배방식의 변경을 권장할 뿐만 아니라 이모작, 농가의 취향에 따라 재배방식이 다를 수 있다. 또한 이앙재배, 담수직파재배, 건답직파재배는 각각 물의 필요시기 및 필요방법이 상이하다. 물관리의 편의 및 효율제고를 위해서는 용수구역별로 단일방식의 집단재배가 이루어지는 것이 바람직하나 앞으로 상당기간 동안 각 재배방식들이 병행될 것으로 예상된다.

이와같은 혼합재배방식에서의 단위용수량의 변화를 검토하기 위해 '97년도의 수원 기상관측소의 기상자료와 각 재배방식별 관개구역의 삼투량을 4.0mm로 가정하여 본 연구에서 개발된 단위용수량 산정모형을 이용 일별 용수량의 변화를 고찰하기로 한다. 이앙재배의 경우 이앙용수량은 140.0mm, 이앙기간은 20일을 적용하도록 하며 담수직파에서는 본답 정지용수는 이앙재배와 같은 140.0mm 및 정지기간은 20일을 적용하도록 하며 눈그누기 및 낙수와 담수 반복에 따른 담수 물관리용수량은 40.0mm를 적용토록 한다. 건답직파에서는 초기 물관리용수량으로 100mm를 적용하며 물관리 기간은 20일로 가정하였다. 또한 관개구역을 100ha로 가정하고 각 재배방식별로 33.3%의 재배면적을 차지하는 것으로 가정하였다.

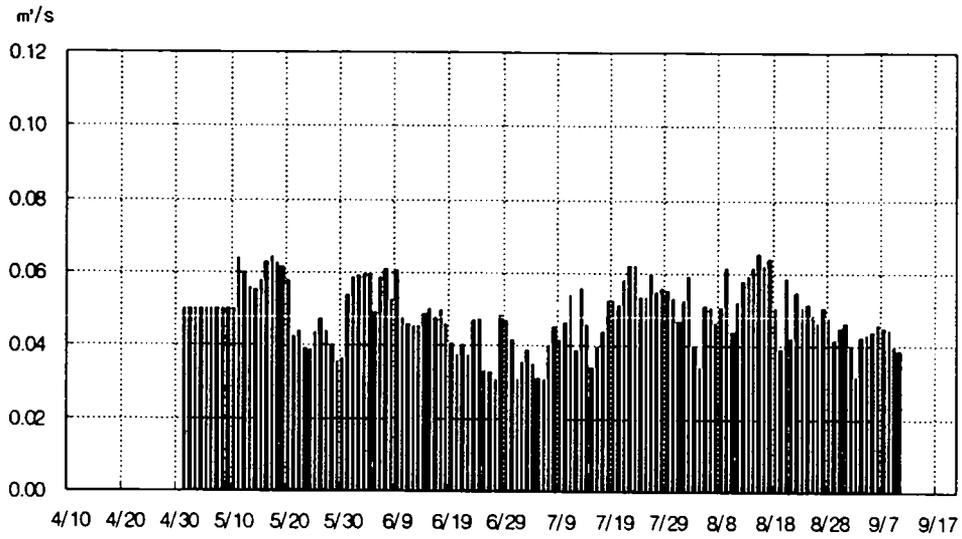
이와같은 자료에 의해 재배방식별 일별 용수량의 변화를 나타내면 <그림 5-12>, <그림 5-13> 및 <그림 5-14>와 같으며 전체 재배구역에서는 <그림 5-15>와 같다. 이와같은 일별 용수량의 변화는 논에서의 유효우량을 고려하지 않고 증발산량과 삼투량 및 이앙용수 등의 물관리용수만을 고려한 것으로서 재배방식별 단위용수량을 비교하기 위해 검토하였다.



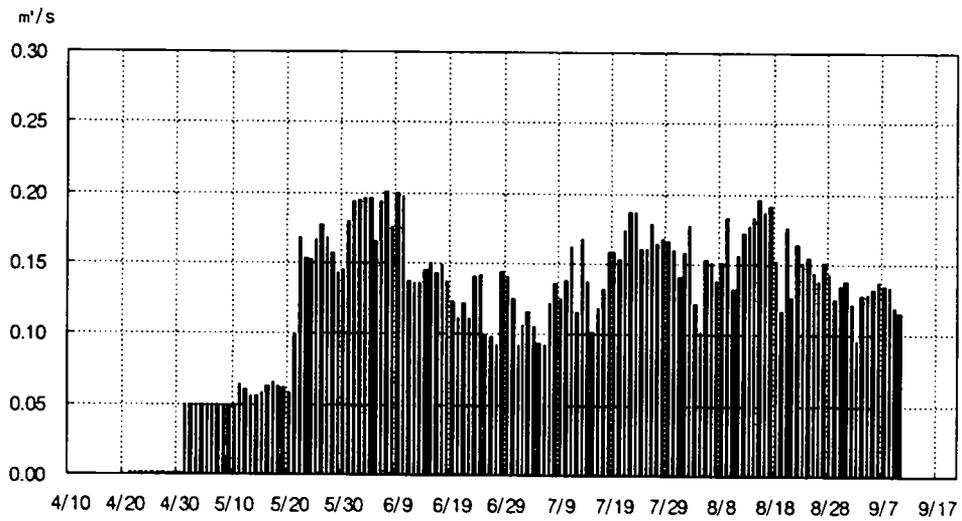
<그림 5-12> 이앙재배의 일별 용수량의 변화(33.3ha)



<그림 5-13> 건답직파의 일별 용수량의 변화(33.3ha)



<그림 5-14> 담수직과 일별 용수량의 변화(33.3ha)



<그림 5-15> 전체 관개구역의 일별 용수량의 변화(100.0ha)

그림에서 알 수 있듯이 재배면적이 동일 할 경우 이앙재배에서는 이앙말기인 6월초순에 최대용수시기를 보이고 있으며 담수직파에서는 본답 정지말기인 5월 중순에, 건답에서는 초기 관리용수량 공급 말기인 6월 초순에 각각 최대 용수시기를 나타내고 있다. 한편 본답기에서는 증발산량이 최대가 되는 8월중순에 최대용수시기가 됨을 알 수 있다.

한편 '97년도의 계산결과에 의해 재배방식별 생육기별 최대용수량 및 이때의 단위용수량을 정리하면 <표 5-13>와 같다.

<표 5-13> 재배방식별, 생육기별 단위용수량의 변화

| 구 분                              | 이앙재배<br>본 답 전 | 건답직파<br>본 답 전 | 담수직파<br>본 답 전 | 본 답 기   | 전 체 구 역 |         | 비 고 |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------|---------|---------|-----|
|                                  |               |               |               |         | 본 답 전   | 본 답 기   |     |
| 최대용수시기<br>(월/일)                  | 6/10          | 6/3           | 5/17          | 8/15    | 6/7     | 8/15    |     |
| 최대 용수량<br>(m <sup>3</sup> /s)    | 0.07935       | 0.07028       | 0.06439       | 0.06529 | 0.20042 | 0.19588 |     |
| 단위 용수량<br>(m <sup>3</sup> /s/ha) | 0.00238       | 0.00211       | 0.00193       | 0.00196 | 0.00200 | 0.00196 |     |

<표 5-13>에서 보는 바와 같이 각 재배방식별로 최대용수시기가 매우 다르게 나타나고 있으며 최대용수량 또는 단위용수량도 다르게 나타나고 있다. 이러한 이유는 재배방식별로 생육기와 물관리 방식이 다르기 때문이며 이앙재배에서 단위용수량이 0.00238 m<sup>3</sup>/s/ha로 가장 크게 나타났으며 다음으로 건답직파에서 0.00211 m<sup>3</sup>/s/ha, 담수직파에서 0.00196 m<sup>3</sup>/s/ha로 각각 나타났다.

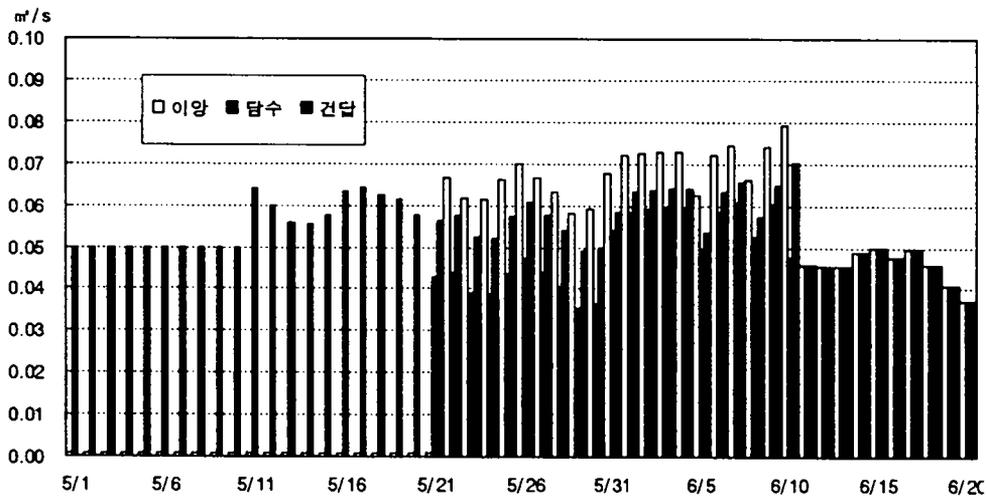
이앙재배와 담수직파에서의 이앙용수 또는 본답정지용수가 동일함에도 단위용수량에서 차이가 나타나는 것은 최대용수시기가 다르기 때문이다. 이앙에서는 식(5-35)에서 보는 바와 같이 이앙기 최대용수량은 증발산량과 삼투량 및 이앙용수량에 의해 결정되는데 6월중순의 증발산량이 담수직파의 최대용수시기인 5월중순보다 많게 되기 때문이다.

본답기에는 재배방법이 동일하기 때문에 최대용수시기 및 단위용수량은 모두 같게 되며 이때의 단위용수량은 0.00196 m<sup>3</sup>/s/ha로서 본답전과 비교하여 이앙 및 건답적파에서는 적게, 담수에 비해서는 많게 산정되었다. 이렇게 볼 때 전 생육기간 동안의 최대용수량은 본답기에서 보다 이앙기나 직파재배의 초기 물관리기에 나타난다고 볼 수 있다.

한편 33.3%씩의 재배방식을 갖는 100ha의 혼합재배구역에서의 단위용수량은 본답전에 0.00200 m<sup>3</sup>/s/ha, 본답기에는 0.00196 m<sup>3</sup>/s/ha로 이앙재배구역이나 건답적파구역 보다 적게 나타났으며 담수구역 보다는 약간 높게 나타났다. 이러한 이유는 최대용수시기가 겹치지 않기 때문이며 재배방식이 혼합되어 있을 경우에 서로 최대용수시기를 상쇄하기 때문으로 볼 수 있다.

#### 5.4.4 혼합방식에서의 단위용수량

이상의 결과로 볼 때 혼합재배방식에서는 단위용수량이 달라지게 됨을 알 수 있었다. 그러므로 재배방식의 혼합비율에 달라지면 단위용수량도 달라질 것이다. 재배방식이 1/3씩 혼합되어 있을 때의 용수량의 변화는 <그림 5-16>과 같다.



<그림 5-16> 혼합재배방식의 일별 용수량의 변화(혼합비율 33.3%)

<그림 5-16>은 100ha의 관개구역에서 이앙, 건답, 담수 재배방식이 각각 33.3% 일때의 재배방식별로 최대용수시기 및 용수량이 어떻게 다른지를 보여주는 것으로서 혼합재배구역 전체에서는 재배방식별 최대용수량만을 산출하여 이를 산술적으로 더하여 설계용수량으로 적용할 수 없음을 나타내고 있다.

재배방식의 혼합비율에 따른 본답기 이전의 설계용수량의 변화를 검토한 결과 <표 5-14>과 같이 나타났다.

<표 5-14> 재배방식의 혼합비율에 따른 단위용수량의 변화

| 재배방식별 구성비(%) |      |      | 단위용수량<br>(m <sup>3</sup> /s/ha) | 설계용수량<br>(m <sup>3</sup> /s) | 비 고 |
|--------------|------|------|---------------------------------|------------------------------|-----|
| 이앙재배         | 건답직파 | 담수직파 |                                 |                              |     |
| 100          | 0    | 0    | 0.00238                         | 0.238                        |     |
| 0            | 100  | 0    | 0.00211                         | 0.211                        |     |
| 0            | 0    | 100  | 0.00196                         | 0.196                        |     |
| 10           | 45   | 45   | 0.00193                         | 0.193                        |     |
| 20           | 0    | 0    | 0.00196                         | 0.196                        |     |
| 30           | 100  | 0    | 0.00199                         | 0.199                        |     |
| 40           | 0    | 100  | 0.00203                         | 0.203                        |     |
| 50           | 45   | 45   | 0.00208                         | 0.208                        |     |

이상의 자료를 살펴볼 때 이앙재배가 100%시행되었을 때 설계용수량이 0.238 m<sup>3</sup>/s로서 가장 높게 나타났으며 건답과 담수의 비율이 45%일 경우에는 단위용수량이 0.193m<sup>3</sup>/s로서 가장 낮게 나타나고 있다. 직파비율이 45%일 경우에는 본답기의 단위용수량 0.196m<sup>3</sup>/s 보다 낮으므로 본답기의 최대용수량을 비교 검토해야 한다. 그러므로 직파재배 방식이 도입되어도 현재의 이앙재배 방식에 의해 설계된 기존 수로조직의 규모를 변화시키지 않아도 충분히 대처할 수 있음을 알 수 있다.

그렇지만 용수지선 및 용수지거를 설계할 경우에는 지배면적을 고려하여 단위

용수량을 결정해야 하므로 보다 신중을 기해야 한다. 이러한 이유는 혼합재배방식에서는 직파재배지가 집단화 되어 있으며 단위용수량을 결정하는 이외의 변수 즉, 집단적으로 병충해 방제나 물관리가 이루어져 동시에 많은 용수수요를 가져올 수 있기 때문이다. 또한 담수직파의 경우 본답 정지기간이나 초기 물관리기간이 단축될수록 단기간의 용수 수요가 급증할 수 있으며 건답직파의 경우 사질토등 토양조건이 나쁜 지역에서 직파재배가 집단적으로 이루어질 경우 초기 재배관리용수량이 급격히 늘어날 수 있기 때문이다.

## 제6장 수리시설물 모의조작 시스템의 개발 및 적용

6.1 시스템의 개요

6.2 저수지 모의조작 모형

6.3 수리시설물 모의조작 시스템

6.4 시스템의 적용성 평가

6.5 시스템의 응용

여 백

## 제6장 수리시설물 모의조작 시스템의 개발 및 적용

### 6.1 시스템의 개요

저수지 등의 수리시설물 규모를 결정하기 위해서는 수문학적 해석뿐만 아니라 안전도 및 경제성, 정책적 배려, 시공방법 및 운영조작 방법 등 여러가지 복합적인 요인을 고려해야 한다. 시설물의 최적설계는 최소비용으로 최대의 안전성 및 최대의 경제적 이득을 얻어야 할 뿐만아니라 향후 수리시설물의 운영에 있어서도 최대한의 편의를 제공할 수 있도록 해야한다. 그러기 위해서는 시설물의 규모를 가정하고 수문순환 과정을 형성하는 개개 성분과정(component process) 및 시설물의 특성자료 등의 영향인자를 모형화하여 시설물의 거동을 살펴봄으로서 사전에 예상되는 문제점을 파악할 수 있다.

이와같이 설계단계에서 시설물에 대한 적정성을 평가하고 시설규모를 결정하기 위해 사용되는 방법이 거동분석(behaviour analysis) 또는 모의발생 기법(simulation analysis)이라고 할 수 있다. 저수지 계획용량 결정은 이러한 모의발생 기법이 널리 적용되고 있으며 농어촌진흥공사에서는 ROS(Reservior Operation Study)라는 저수지 모의조작 모형을 개발하여 사용하고 있다. 그러나 ROS 모형은 변화하는 영농방식을 고려할 수 없고 강우-유출모형으로서 棍山식을 사용하고 증발산량 추정식으로 Blaney & Criddle식을 사용하고 있어 순단위 이상의 모의조작만이 가능하여 저수지의 거동을 면밀히 파악할 수 없는 단점이 있다.

영농방식 변화에 따른 필요수량의 변화를 연구하는 궁극적인 목적은 변화된 영농방식에 따라 적정 물관리 방안을 수립하고 영농방식을 고려한 수리시설물의 최적설계를 위한 것이라고 할 수 있다. 그러므로 이를 위해서는 수리시설물에 대한 모의조작 모형의 개발이 절대 필요하다 하겠다. 수리시설물에 대한 모의조작은 결국 시설물에 대한 물수지 분석을 의미한다. 모의조작에 필요한 요소를 정의하고

시설물의 규모를 가정하여 여기에서의 물 수요와 공급의 최적 균형점을 찾게되면 이때의 시설규모가 최적규모라고 말 할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 제5장의 필요수량 산정 모형을 기초로 유입량 모형 및 물수지 모형을 개발하여 시설물의 계획용량 결정, 기설 수리시설물의 능력평가에 활용할 수 있도록 하였다. 이러한 모형을 실제적이고 범용성있게 사용하기 위해서는 일관된 시스템으로 운영하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 기존의 ROS모형을 대체할 수 있을 뿐만 아니라 영농방식을 고려한 일별 모의조작과 순별 모의조작이 가능하고 하나의 시스템내에서 자료의 작성 및 계산의 수행, 계산 결과의 출력이 가능한 수리시설물 모의조작 시스템(HOMWRS)을 개발하였다.

수리시설물 모의조작 시스템(Hydrologic Operation Model for Water Resources)이란 관개용 저수지 등의 수리시설물에 대한 모의조작을 하나의 틀내에서 일괄적인 작업을 통해 수행할 수 있는 컴퓨터 프로그램이라고 말 할 수 있다. 이러한 시스템은 자료를 작성하고 계산과정을 수행하며 결과에 대한 해석 및 출력 등이 동일 시스템내에서 가능하여야 한다. HOMWRS 에서는 이러한 과정이 일괄적으로 수행되도록 하였다.

## 6.2 저수지 모의조작 모형

저수지 모의운영 분석(reservoir operation study) 또는 저수지 모의조작 분석은 전술한 바와 같이 저수지를 하나의 시스템으로 보았을 때 기간별 입력과 출력을 가지고 저류량의 시간적 변화를 따지는 물수지(water budget analysis)라고 볼 수 있다. 저수지로의 입력은 댐 지점에서의 유입량과 저수지 표면에 떨어지는 강수량이며, 출력에는 관개구역내 작물에 대한 필요수량을 충족시키거나 기설 수리권을 보장할 수 있는 방류량, 저수지의 표면으로 부터의 증발량 및 기타 용수 수요량이 포함된다.

관개용 저수지의 경우 대부분 규모가 적고 단일 목적으로 사용하는 경우가 많

으므로 유입량이나 방류량의 연계열치나 월계열치를 사용하여 모의조작할 경우 만족할 만한 정밀도를 얻기 어려우며 보통 월중의 일별 유량 또는 방류량의 발생순서도 저수지의 거동에 중요한 영향을 미치므로 일별 모의조작이 바람직하다.

일별 저수지 모의조작 분석을 통해 저수지의 물을 가장 경제적으로 사용할 수 있는 기준을 설정할 수 있으며 저수지 운영조작 기준에 따라 저수지의 거동을 모의해 볼 수 있으므로 최적 운영기준의 설정이라든지 관개용 저수지의 경우 최적 용수배분량 및 배분시기 등의 의사결정도 지원할 수 있다.

### 6.2.1 모의조작의 요소

영농방식을 고려한 저수지 모의조작 모형에서 가장 중요한 부분은 작물 필요수량 산정 모형이다. 관개용 저수지에서는 작물 필요수량이 출력요소의 대부분을 차지하고 있기 때문이다. 필요수량 산정 모형은 제5장 필요수량 산정모형에서 자세히 언급하였으며 재배방식별 논에서의 증발산량 및 소비수량을 산정하고 생육기별 관개수량을 결정한다.

유입량 모형은 실측 유입량 자료가 없는 경우 유역에서의 유입량을 모의발생하기 위해 필요하다. 유입량 모의발생 모형은 강우자료로 부터 일별 또는 순별 유입량 추정이 가능하고 지표유출 성분뿐만 아니라 중간유출 및 기저유출까지 포함하는 모형이어야 한다. 다음으로 필요한 것은 저수지에서의 기타 손실량 또는 용수수요량을 추정할 모형이다. 기타 손실량에는 수면상 증발량, 여수토 월류량, 제체 침투량 등이 있고 수면상의 강우량은 유입량의 한 요소로 고려되어야 한다. 또한 관개용 저수지 일지라도 농어촌생활용수, 소수력 발전용수 등의 기타 용수수요도 고려할 수 있어야 한다.

물수지 모형에서는 필요수량 및 유입량 모형에서 결정된 물수지 요소들을 저수지의 설계제원을 가정하여 모의조작하게 되며 저수지에서의 저수량, 저수위 등의 실제 거동을 살펴볼 수 있고 다년간의 모의조작 결과에 따라 저수지의 계획용

량도 결정할 수 있다.

### 6.2.2 필요수량 모형

관개용 저수지에서 공급해 주어야 할 수량은 당일의 기상조건, 포장의 여건 및 영농방식에 따라 달라진다. 또한 수로조직의 형태 및 작물의 생장단계도 중요한 변수가 된다. 기상조건은 관개수량을 결정하는 가장 중요한 변수다. 강우의 유무, 일사량의 정도, 습도, 풍속 등은 작물이 필요로 하는 증발산량을 발생시키며 포장에서 유효수량을 제공하기도 한다. 물론 이와같은 기상요소들은 작물의 생육단계에 영향을 미치기도 하고 생육단계가 작물의 필요수량을 결정하기도 한다.

포장조건은 일반적으로 논에서의 삼투량, 물꼬높이에 의한 담수심, 관리손실, 관개면적 등을 의미한다. 이와같은 요소들은 포장에서의 물관리에 절대적인 영향을 미치며 물관리 방법에 따라 저수지에서 공급해야할 수량도 변하게 된다. 다음으로 중요한 조건은 영농방식 또는 재배방식이라 볼 수 있다. 논에서의 벼 재배방식은 이앙재배, 직파재배, 전·답 윤환재배 등을 의미하며 이와같은 재배방식의 변화는 토양공극의 변화, 물관리 방법의 변화를 수반하게 되어 답에서의 필요수량도 변하게 된다.

논벼의 경우 한 필지의 필요수량은 논에서의 증발산량에 삼투량을 더하고 유효수량을 감하여 산정한다. 기간별 필요수량은 기상상태에 따라 변하는 증발산량과 유효수량의 관계에서 논벼의 생육단계에 따른 시간의 함수로 나타낼 수 있다. 증발산량의 산정은 잠재증발산량(Potential Evapotranspiration)이 기상조건에 따라 변하기 때문에 작물의 종류에 따라 실제증발산량과 상이하게 된다. 이와같은 차이는 작물계수를 통해 보정해 주어야 한다.

일반적으로 논 필요수량 산정을 모형화하는데 있어 해당 저수지의 관개조직의 특성상 지구 전체를 하나의 필지로 개념화하고 필요수량에 미치는 기타 요소를 매개변수로 하는 총괄형 모형이 유리한 것으로 알려져 있다. 본 모형에서는 관개구역

전체를 단일 필지로 개념화하고 이에 따른 물관리 모형을 구축하였으며 기상자료로부터 작물증발산량을 산정하기 위해 수정Penman식과 Blaney & Criddle식을 이용하였다.

### 6.2.3 유입량 모형

유역에 대한 강우-유출 현상의 모의발생을 위해서 여러 가지의 수문모형이 있지만 우리나라에서 많이 이용되고 있는 장기유출량 추정모형으로는 Tank (Suwagara, 1967)모형과 가지야마 월 수수량 공식이 있다.

탱크(Tank)모형은 Suwagara에 의하여 단일 탱크의 선형시스템(linear system) 모형의 개념에서 출발된 것이다. 이 모형은 탱크를 직렬 또는 병렬로 연결하여 유역의 지표유출, 중간유출, 기저유출을 각 성분별로 재현할 수 있도록 개념화한 것이다. 우리나라에서는 관개용 저수지의 일별유입량 모의발생(김현영, 1987)연구에서 소유역에 적합하도록 3단 직렬 탱크모형을 사용한 바 있는데, 실측 유출량 자료로 모형을 보정해야만 사용할 수 있는 매개변수를 유역면적, 토지 이용별 면적 등에 의한 회귀식을 유도하여 무계측 유역에서 사용할 수 있도록 하므로서 무계측 유역에서 사용할 수 없는 탱크모형의 단점을 보완하였다.

가지야마 월 수수량 공식은 우리나라 중·대하천의 24개 지점에서 측정된 1916년부터 1927년까지의 유출량 자료로부터 월유출량 추정을 위하여 유도한 공식이다. 이 공식은 유역내의 수문환경의 특성이나 강우의 양상에 따른 유출변화를 전혀 고려하지 않으므로 추정의 정확성을 기대하기 어려운 모형임에도 불구하고 각종 수자원개발에 이용되고 있는 실정이다.

본 유입량 모형에서는 김(1987)에 의해 개발된 DIROM 모형을 적용, 일별유입량을 산정할 수 있도록 하였고 가지야마 월 수수량 공식의 적용을 통하여 순별 유입량도 산정할 수 있도록 하였다.

### 가. 일별 유입량 산정

<그림 6-1>는 탱크모형을 기초로 한 DIROM 모형의 강우-유출 관계를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 1단 탱크는 유출의 성분중 지표유출을 개념화한 것이고 2단 및 3단은 각각 중간유출 및 기저유출을 개념화한 것이다. DIROM모형에 의한 유역의 유출량은 일별 강우량으로 부터 다음 식 (6-1)에 의하여 계산한다.

$$Q_{ij} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (ST_{i,t} - H_{ij}) A_{ij} \quad (6-1)$$

여기서  $Q_{ij}$  = t일의 총유출량(mm),  $i$  = 탱크의 번호,  $j$  =  $i$  탱크의 유출공의 수,  $ST_i$  =  $i$  탱크의 저류수심(mm),  $H_{ij}$ 는  $i$  탱크의  $j$ 번째 유출공의 높이(mm) 및  $A_{ij}$ 는 유출공의 단면적(무차원)을 나타낸 것이다. 또한 저류수심  $ST_{i,t}$ 는 단위시간  $t$ 에 따라 다음과 같이 계산한다.

$$ST_{i,t} = ST_{i,t-1} + R_t - E_t - I_{i,t} - Q_{i,t-1} \quad (6-2)$$

여기서  $ST_{i,t-1}$  = t-1일의  $i$  번째 탱크의 수심(mm),  $R_t$  = t일의 강우량(mm),  $E_t$  = 증발량(mm),  $Q_{i,t-1}$ 은  $i$  번째 탱크의 t-1일의 유출량이다. 침투량  $I_{i,t}$ 는 다음 식 (6-3)과 같이 계산하며  $B_i$ 는  $i$  번째 탱크 삼투공의 침투계수이다.

$$I_{i,t} = ST_{i,t} \times B_i \quad (6-3)$$

### 나. 순별 유입량 산정

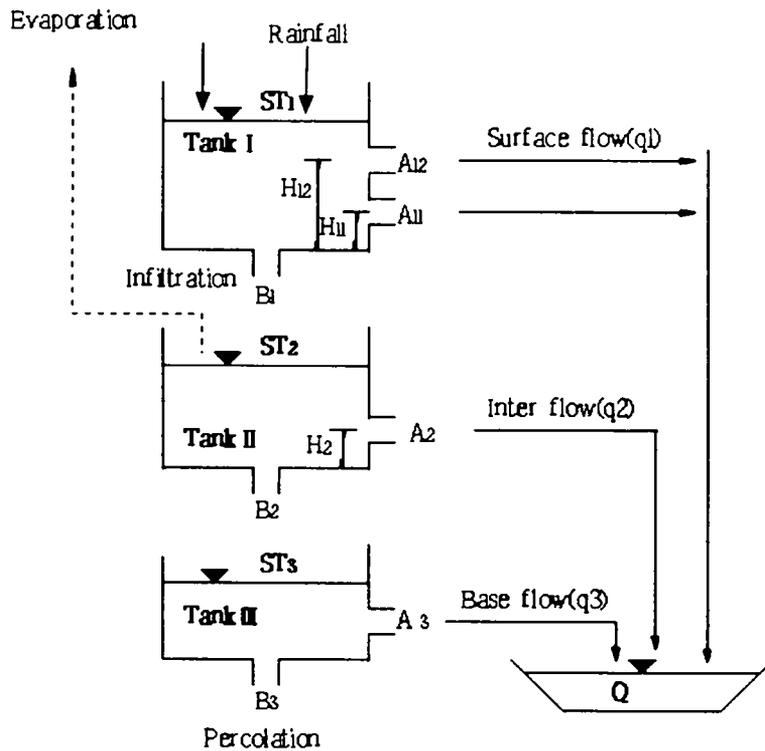
순별 물수지 계산을 위한 유입량 산정은 저수지 상류유역의 유출량을 모의연산하는 가지야마 월 수수량 공식을 적용할 수 있으며 탱크 모형에 의한 일별 유출량을 순 단위로 정리하여 사용할 수도 있다. 가지야마 월 수수량 공식을 간단히 나타내면 식 (6-4)와 같다.

$$R = \sqrt{P^2 + (138.6f + 10.2)^2} - 138.6f + E \quad (6-4)$$

여기서  $R$  = 월 유출고(mm),  $P$  = 월별 강우량(mm),  $f$  = 유출계수,  $E$  = 월별  
 갱정계수를 나타낸다. 식 (6-4)에 의해 계산된 월별 유출고는 강우량에 의한 비례  
 식으로 순별 유출고를 계산하게 되며 순별 강우량이 없거나 5mm 이하인 경우에는  
 다음 식 (6-5)에 의하여 유출고를 갱정 산출한다.

$$C_o = \frac{10.2 + E_o}{3} \quad (6-5)$$

여기서  $C_o$  = 갱정 순별 유출고(mm),  $E_o$  = 월 강우량이 0 mm 일때의 월별  
 갱정계수를 나타낸다. 유출계수  $f$ 는 유역의 임상상태나 유출조건에 따라 결정 된다.



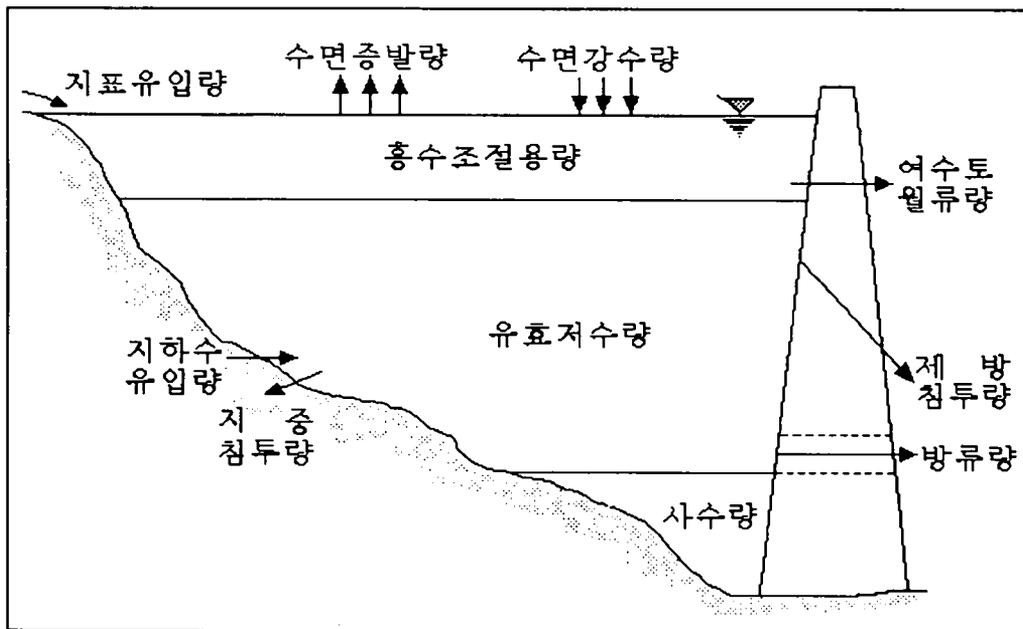
<그림 6-1> DIROM 모형의 강우-유출 모식도

## 6.2.4 물수지 모형

저수지 물수지 모형에서는 계산된 유입량 및 필요수량 자료를 이용하여 주어진 시간 단위별로 저수량의 변화를 추정하기 위하여 식 (6-6)과 같이 연속 방정식을 사용하였다.

$$S_t = S_{t-1} + I_t + U_t + P_t - (R_t + O_t + E_t + G_t + D_t) \quad (6-6)$$

여기서  $S_{t-1}$  = t-1 일의 저수량,  $I_t$  = 유입량,  $U_t$  = 지하수 유입량,  $P_t$  = 수면강수량,  $R_t$  = 방류량,  $O_t$  = 여수토 월류량,  $E_t$  = 수면증발량,  $G_t$  = 지중침투량,  $D_t$  = 제방침투량 등이다. 저수지에서의 물수지 모식도는 <그림 6-2>와 같다.



<그림 6-2> 저수지에서의 물수지 모식도

저수지의 물수지 인자들 중에서 가장 중요한 요소는 유입량  $I_t$ 와 눈에서의 필요수량 및 기타 용수수요량에 의해 결정되는 방류량  $R_t$ 이다. 유입량은 앞에서

언급한 바와 같으며 방류량은 논에서의 필요수량과 농어촌생활용수, 소수력 발전용수 등이 포함된다. 또한 필요할 경우 하천유지용수, 관개수로의 정상 흐름을 유지시키기 위한 최소방류량 등이 포함될 수 있다. 저수지의 통관 방류량은 아니지만 저수량이 여유가 있고 관개구역이 지구외에 있을 경우에는 양수장 설치에 의한 펌핑량도 고려해야 한다.

실제 물수지 요소들을 모형화 하는데 있어서는 기타 손실량에 대한 정량적인 분석도 필요하다. 기타 손실량은 지하수 유입량  $U_i$ , 지중침투량  $G_i$  및 제방침투량  $D_i$  등 실측이 거의 불가능한 요소 및 실측은 불가능하지만 정량화가 가능한 요소로 구분할 수 있다. 지하수 유입량은 수문 관측지점에서 지표수로 측정되거나 그 변화가 월단위 이상이기 때문에 순 단위 또는 일 단위의 물수지 계산에 있어서는 고려하지 않는 것이 보통이며, 지중침투량 및 제방침투량은 누수를 방지하기 위하여 지수벽을 설치하는 등의 방법으로 차단 효과를 거둘 수 있고 실제 그 양이 매우 적거나 단기간의 물수지에 영향을 미치는 정도가 적으므로 본 모형에서는 고려하지 않았다.

저수지의 수면상에 내리는 수면강우량  $P_i$  및 수면 증발량  $E_i$ 도 정량화가 가능하다. 수면 강우량은 단위 모의조작 기간 동안의 강수량(mm)과 저수지의 수면적에 단위환산계수를 곱하므로써 계산할 수 있으며 식 (6-7)과 같이 나타낼 수 있고, 수면 증발량은 기상관측소의 증발계증발량에 Veihmeyer(1964)의 Pan 계수를 적용하여 식 (6-8)과 같이 산정하였다.

$$P_i = C \times R_i \times A_f \quad (6-7)$$

$$E_i = C \times A_f \times E_v \times P_c \quad (6-8)$$

여기서,  $P_i$  및  $E_i$  는 각각 수면 강수량 및 수면 증발량을 나타내며  $C$ 는 단위환산계수,  $A_f$ 는 저수지 수면적,  $R_i$  와  $E_v$  는 각각 해당 관측소의 강수량 및 증발계증발량을  $P_c$ 는 증발계의 Pan 계수를 나타내고 있다.

한편 저수지에 대한 여수토 월류량  $O_t$ 는 여수토의 제원에 따른 방류량을 시간적으로 계산하여야 하나 농업용저수지의 일반 여수토가 자연월류식이므로 시간별 변화를 무시하고 저수지의 저수량이 여수토의 제정고 이상일 경우 그 이상되는 저수량은 모두 월류하는 것으로 가정하였다. 즉

$$O_t = S_t - S_f \quad (\text{단, } S_t > S_f) \quad (6-9)$$

여기서  $O_t$ 는 여수토 월류량을,  $S_t$ 는 해당 기간의 저수량을,  $S_f$ 는 여수토 만수위의 저수량을 나타낸다.

### 6.2.5 필요저수량의 결정

일반적으로 저수지 계획용량은 저수지 모의조작 결과로 나타나는 필요저수량(Required Storage)에 대한 연 최대치계열을 확률처리하여 결정한다. 그러나 모의발생에 의한 저류량이 매년말 다음해로 이월(annual carryover)되는 경우에 대해서는 연 최대치계열에 대한 확률처리에는 신중을 기해야 한다.

표본수문변량  $x$ 는 일반적으로 변량의 평균치  $\bar{x}$ 에  $x$ 의 편차  $\Delta x$ 를 더한 것으로 표시할 수 있다. 즉,

$$x = \bar{x} + \Delta x \quad (6-10)$$

여기서 편차  $\Delta x$ 는 변량  $x$ 의 확률분포가 가지는 분포특성과 변량의 재현기간(혹은 생기확률) 및 분포형의 매개변수 등과 관계가 있으며 변량  $x$ 의 표준편차  $s$ 에 빈도계수(frequency factor)  $K_T$ 를 곱한 값으로 표시된다. 즉,  $\Delta x = s \cdot K_T$ 로 나타낼 수 있으며,  $X_T = \bar{x} + s \cdot K_T$ 와 같다. (6-11)

여기서  $X_T$ 는  $T$  재현기간에 발생할 확률치이며  $K_T$ 는  $T$ 년의 빈도계수이다.

통상적으로 저수지 계획결정에 사용되는 확률함수 식은 Gumbel-Chow법을 적용하고 있으며 그 식은 다음과 같다.

$$X_t = X + k \times \delta_{n-1} \quad (6-12)$$

여기서  $X_t$  = 재현기간 t년의 기대치,  $X$  = 표본의 평균치,  $k$  = 빈도계수,  $\delta_{n-1}$  = 표본의 표준편차 등이다. 본 모형에서는 4가지의 확률 분포함수를 적용하였으며 각 확률분포 함수에 대한 계산 결과를 비교하여 최적의 값을 선택하도록 하였다.

실제 저수지 설계에 있어서는 축조후 시일이 경과함에 따라 유역으로부터 토사가 유입, 퇴적하여 그 용적이 감소되므로 감소 정도를 고려해 주어야 한다. 본 모형에서는 별도의 토적모형을 고려하지 않았으며 유효저수용적의 10%가 퇴사에 의해 용적이 감소되는 것으로 보았으며 이를 계상하여 저수지 계획용량을 결정하도록 하였다.

### 6.2.6 기타 수리시설물

용수를 공급하기 위한 농업용 기타 수리시설물에는 물을 저류하지 않고 직접 하천에서 양수하는 양수장 및 보와 지하수를 사용하는 관정 등이 있다. 이들 시설물에 대한 규모의 결정은 단지 필요수량의 산정에 의해 정할 수 있는 경우가 있으며 물수지 분석에 따라 결정되어야 하는 경우가 있다. 보 및 양수장 등 직접 양수하여 도수하는 연속적인 유출형 수자원 계획에서는 일별 물수지 분석을 통하여 시설규모를 결정하는 것이 바람직 하다.

## 6.3 수리시설물 모의조작 시스템

### 6.3.1 시스템의 기본구성

수리시설물 모의조작 시스템은 이양재배 뿐만아니라 담수직파, 건답직파 그리고 혼합방식에서의 논 필요수량을 일별 또는 순별로 산정하고 유역에서의 유입량을 산정하여 물수지 분석과정을 통해 시설물의 계획용량 결정, 기설 수리시설물의 능력평가에 활용할 수 있으며, 재배방식별 단위용수량을 산정하여 용수로의 설계단면 결정에도 이용할 수 있는 범용성 있는 Windows 95용 프로그램이다.

Windows용 프로그램들은 사용자에게 정보를 출력하거나 입력받는 과정 즉, 사용자 인터페이스(user interface)를 손쉽게 구현할 수 있는 장점이 있다. 기존의 Dos에서 실행되는 대부분의 프로그램들은 인터페이스(interface)보다는 업무를 수행하는 프로시저(procedure)에 중점이 주어져 그냥 시작되고 실행되다가 끝나버리거나 멈추어 버리는 것이 고작이었다.

그러나 Windows 프로그램은 Windows GUI(그래픽 사용자 인터페이스)에 연결되는 여러 종류의 컨트롤을 사용하여 사용자 인터페이스를 시각적(visual)으로 구현할 수 있으며, Windows 환경은 물론이고 다른 Windows 프로그램들과 전반적으로 상호작용하여 자료의 입력과 출력을 손쉽게 할 수 있다.

마이크로소프트(Microsoft)의 Windows용 프로그램 개발 도구인 Visual Basic은 손쉬운 인터페이스를 원하는 사용자의 요구에 부응할 수 있을 뿐만아니라 시각적(visual)특성과 이벤트 구동(event-driven)방식을 도입하여 프로그램 개발 과정이 단순화되어 있기 때문에 Windows 프로그래밍을 처음 해보는 사람들도 전문 수준의 Windows용 프로그램을 작성할 수 있는 장점이 있다.

그러므로 본 연구에서는 Visual Basic 4.0 버전을 기본 도구로 하여 수리시설물 모의조작 시스템 HOMWRS를 개발하였다. 다만 필요수량 모형 및 유입량 모형 등 본 시스템의 서브모형은 포트란(Fortran V)을 이용하여 개발되었으며, 시스템

내에서 호출되어 실제 계산과정을 수행하도록 하였다. 또한 본 시스템에서 활용되는 기상자료 등은 Microsoft Access 데이터베이스 프로그램을 이용하여 DB 파일로 구축되었으며 시스템내에서 효율적으로 관리되도록 하였다.

수리시설물 모의조작 시스템은 다음과 같은 기본 방향하에서 개발되었으며 운영되도록 하였다.

- Windows 환경의 최대 활용
- 메뉴방식에 의한 프로그램의 구성
- 하위 모형의 독립적 운영
- 기본자료의 DB구축을 통한 검색 및 활용
- 온라인 도움말 제공을 통한 사용자 편의성 제공

이러한 기본방향에 따라 개발된 본 시스템은 32bit 운영체제를 갖는 Windows 95 환경하에서만 작동될 수 있으며 RAM 16M 이상에서 원활히 작동되고 HDD의 용량은 4M 이상이 필요하다. 그렇지만 본 시스템에서 구축된 68개 기상관측소의 일별 기상자료를 모두 활용하고자 할 경우에는 30M 정도의 HDD 용량이 추가로 필요하다. 본 시스템을 구성하는 Folder, 파일 및 기본 메뉴는 다음과 같다.

#### 가. 시스템 Folder 및 파일

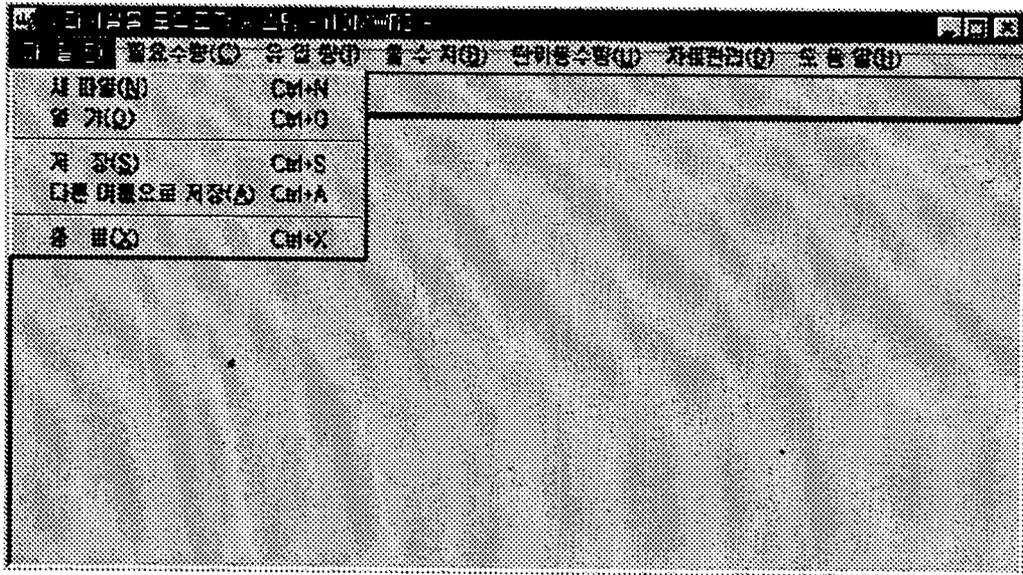
본 시스템을 PC내에서 운용하기 위해서는 3개의 Sub-Folder가 필요하다. Root Folder 밑에 Main Folder로서 HOMWRS Folder가 있어야 하며 하위 Folder로서 Main Folder, Prog Folder, Work Folder가 각각 계층적으로 구성되어 있어야 한다. 또한 시스템 파일들은 특정의 하위 Folder에 설치되어야 하는데 Main Folder에는 시스템을 운용하는 주 프로그램인 HOMWRS.EXE, 기상자료 데이터베이스 파일인 *Metadata.mdb*와 기상관측소, 작물계수, 작부시기 데이터베이스 파일인 *Meteoro.mdb* 및 도움말 파일인 *Homhelp.hlp*가 있어야 한다.

Prog Folder에는 시스템을 구성하는 각 하위 모형의 실행 파일들이 설치되어야 한다. 각 서브모형은 필요수량 모형, 유입량 모형, 물수지 모형, 단위용수량

모형이며 시스템내에서 실제 계산과정을 수행할 때는 이들 실행 파일들을 Prog Folder에서 호출하도록 되어있다. Work Folder에는 필요수량, 유입량 및 물수지 계산결과를 임시 저장하거나, 시스템을 통하여 작성된 입력자료인 프로젝트 파일을 \*.prj 형태의 확장자로 저장하는 곳으로 프로젝트 파일은 반복 계산시 다시 호출하여 사용할 수 있다.

#### 나. 하위 시스템의 구성

본 시스템을 구성하는 하위 시스템(sub-system)은 독립적인 사용자 인터페이스를 나타내는 양식(form)과 메뉴로 구성되어 있다. Visual Basic의 다중 문서 인터페이스(MDI)는 한 개의 상위(parent)양식 안에서 여러 개의 하위(child)양식을 유지하고 관리할 수 있도록 하는데 본 시스템에서는 한 개의 MDI양식이 여러개의 하위양식을 자신의 테두리 안에서 출력되도록 하고, 또한 MDI양식에 한하여 자신의 메뉴를 가지게 함으로서 시스템의 안정성을 높일 수 있도록 구성하였다. 각 하위 시스템은 6.3.3절에서 상세히 설명하였으며 MDI양식에서 관리하는 기본 메뉴는 <그림 6-3>에서 보는 바와 같다.

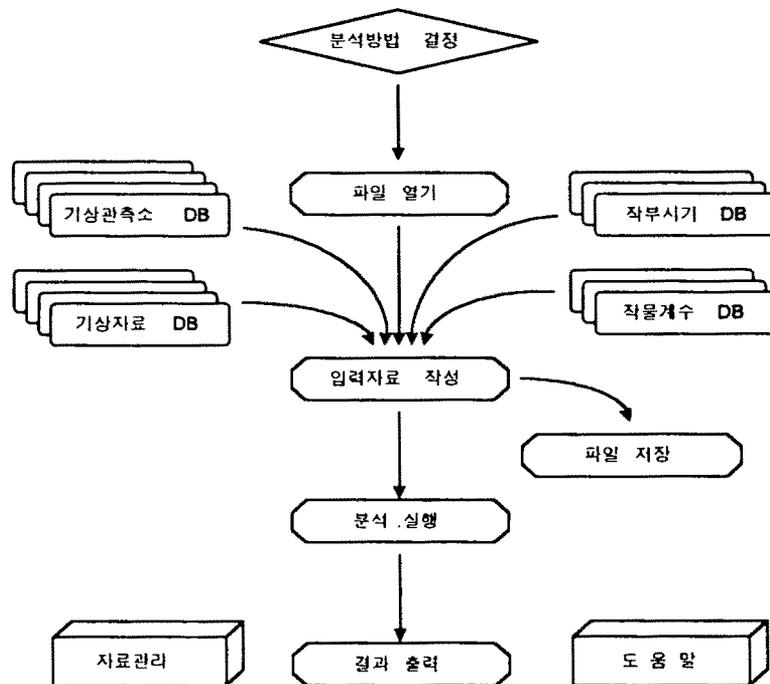


<그림 6-3> 시스템 메뉴의 구성

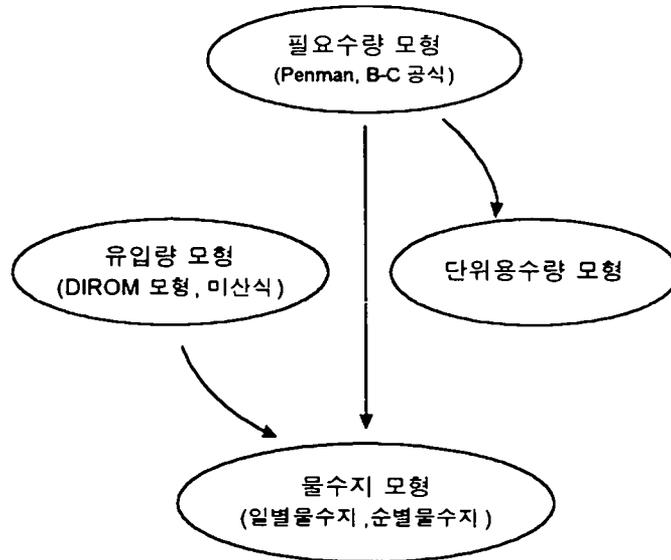
#### 다. 하위 모형의 구성

시스템에서 관리되는 하위 모형은 앞에서 언급한 바와 같이 필요수량 모형, 유입량 모형, 물수지 모형, 단위용수량 모형을 의미하며 각 하위 모형은 시스템의 기본 메뉴에서의 필요수량, 유입량, 물수지, 단위용수량 메뉴와 대응하게 되고 각 하위모형에 대한 입력자료가 작성된 후 실제 계산과정을 수행하기 위해 호출된다.

입력자료의 작성은 기존에 작성되어있는 프로젝트 파일을 열거나 해당 메뉴에서 하위 시스템을 호출하고 필요에 따라 기상관측소 DB, 기상자료 DB, 작물계수 DB를 열어 새로운 입력파일을 작성 할 수 있다. 이 때 각 단계 마다 도움말 기능을 제공 받을 수 있다. 시스템을 이용한 개략적인 업무분석 과정은 <그림 6-4>와 같으며 하위모형은 <그림 6-5>과 같이 관련되어 있으므로 물수지를 할 경우에는 필요수량 및 유입량을 먼저 산정하여야 한다.



<그림 6-4> 시스템을 이용한 업무분석 흐름도

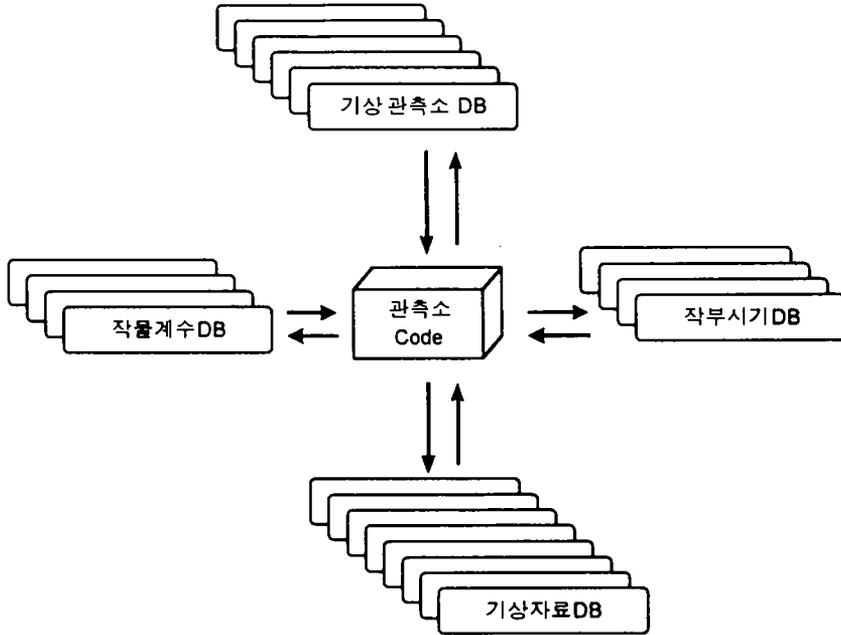


<그림 6-5> 시스템의 하위 모형간 연계도

### 6.3.2 DB의 구축

본 시스템에서는 시스템내에서 반복적으로 사용하게 되는 기본자료를 데이터베이스화 하여 관리하고 있다. 데이터베이스에는 기상관측소 DB와 각 관측소별 기상자료 DB 및 필요수량 산정을 위한 작물계수 DB와 작부시기 DB가 있다. 기상관측소 DB는 관측소 코드 및 관측소명과 관측소 현황 자료가 구축되어 있으며, 기상자료 DB는 각 기상관측소별로 필요수량 및 유입량 계산에 필요한 6개의 기상요소에 대한 일별자료가 구축되어 있다.

본 시스템에서 관리되는 모든 데이터베이스는 기상관측소 DB의 관측소 코드 값에 의해 서로 관련되어 있다. 분석지구의 해당 기상관측소를 선택하면 이 기상관측소의 코드값은 해당관측소가 속하는 지역의 작물계수 DB와 작부시기 DB를 열어 자동으로 입력자료를 작성하게 된다. 각 데이터베이스의 연결 구조도는 <그림 6-6>과 같으며 각 DB의 구성내역은 다음과 같다.



<그림 6-6> 데이터베이스 연결 구조도

### 가. 기상관측소 DB

기상관측소 DB에는 '96년 현재 지상 기상관측을 실시하고 있는 전국의 모든 기상관측소에 대한 관측소명 및 code값과 관측소 위치, 노장의 높이 및 풍속계의 지상높이와 중.남부 지역구분 자료가 수록되어 있다.

DB의 구성요소는 <표 6-1>과 같으며 기상관측소 DB에 수록되어있는 기상관측소 현황은 <표 6-2(a)~(b)>와 같다.

<표 6-1> 기상관측소 DB 구성내역

| 구성요소<br>내역 | 지점번호<br>(Station No.) | 관측지점<br>(Station) | 북 위<br>(Lat.(N)) | 동 경<br>(Long.(E)) | H<br>(m) | Ha<br>(m) | 중남부<br>구 분 |
|------------|-----------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------|-----------|------------|
| 데이터 형식     | 정 수                   | 문 자               | 실 수              | 실 수               | 실 수      | 실 수       | 정 수        |

H : 노장의 해발높이(Height of observation field above mean sea level)

Ha : 풍속계의 지상높이(Height of anemometer above the ground)

<표 6-2(a)> 기상관측소 일람표

| 지점번호<br>Station No. | 관측지점<br>Station  | 북위<br>Lat.(N) | 동경<br>Long.(E) | H<br>(m) | Ha<br>(m) | 이용가능 자료 |     |
|---------------------|------------------|---------------|----------------|----------|-----------|---------|-----|
|                     |                  |               |                |          |           | 시작년     | 보유년 |
| 090                 | 속초 Sokcho        | 38° 15'       | 128° 34'       | 17.6     | 11.9      | 81      | 14  |
| 095                 | 철원 Chorwon       | 38° 09'       | 127° 19'       | 154.9    | 15.0      | 88      | 7   |
| 100                 | 대관령 Taegwallyong | 37° 41'       | 128° 45'       | 842.0    | 10.0      | 72      | 23  |
| 101                 | 춘천 Chunchon      | 37° 54'       | 127° 44'       | 74.0     | 10.0      | 67      | 28  |
| 105                 | 강릉 Kangnung      | 37° 45'       | 128° 54'       | 26.0     | 9.8       | 67      | 28  |
| 108                 | 서울 Seoul         | 37° 34'       | 126° 58'       | 85.5     | 10.6      | 67      | 28  |
| 112                 | 인천 Incheon       | 37° 29'       | 126° 38'       | 68.9     | 11.0      | 67      | 28  |
| 114                 | 원주 Wonju         | 37° 20'       | 127° 57'       | 149.8    | 10.0      | 86      | 9   |
| 115                 | 울릉도 Ullung-do    | 37° 29'       | 130° 54'       | 221.1    | 10.3      | 67      | 28  |
| 119                 | 수원 Suwon         | 37° 16'       | 126° 59'       | 36.9     | 10.6      | 67      | 28  |
| 129                 | 서산 Sosan         | 36° 46'       | 126° 28'       | 19.7     | 11.8      | 68      | 27  |
| 130                 | 울진 Ulchin        | 36° 59'       | 129° 25'       | 49.5     | 13.6      | 81      | 15  |
| 131                 | 청주 Chongju       | 36° 38'       | 127° 26'       | 59.0     | 11.0      | 67      | 28  |
| 133                 | 대전 Taejon        | 36° 18'       | 127° 24'       | 77.1     | 10.4      | 69      | 26  |
| 135                 | 추풍령 Chupungnyong | 36° 13'       | 128° 00'       | 245.9    | 16.3      | 67      | 28  |
| 136                 | 안동 Andong        | 36° 33'       | 128° 43'       | 139.3    | 15.5      | 83      | 12  |
| 138                 | 포항 Pohang        | 36° 02'       | 129° 23'       | 5.6      | 15.5      | 67      | 28  |
| 140                 | 군산 Kunsan        | 35° 59'       | 126° 42'       | 26.3     | 14.5      | 68      | 27  |
| 143                 | 대구 Taegu         | 35° 53'       | 128° 37'       | 57.8     | 23.6      | 67      | 28  |
| 146                 | 전주 Chonju        | 35° 49'       | 127° 09'       | 51.2     | 8.9       | 67      | 28  |
| 152                 | 울산 Ulsan         | 35° 33'       | 129° 19'       | 31.5     | 10.8      | 67      | 28  |
| 155                 | 마산 Masan         | 35° 11'       | 128° 34'       | 4.5      | 19.5      | 87      | 8   |
| 156                 | 광주 Kwangju       | 35° 08'       | 126° 55'       | 70.9     | 15.4      | 67      | 28  |
| 159                 | 부산 Pusan         | 35° 06'       | 129° 02'       | 69.2     | 17.8      | 67      | 28  |
| 162                 | 충무 Chungmu       | 34° 50'       | 128° 26'       | 32.2     | 11.5      | 81      | 14  |
| 165                 | 목포 Mokpo         | 34° 47'       | 126° 23'       | 53.4     | 15.8      | 67      | 28  |
| 168                 | 여수 Yosu          | 34° 44'       | 127° 44'       | 67.0     | 10.5      | 67      | 28  |
| 170                 | 완도 Wando         | 34° 18'       | 126° 45'       | 14.7     | 15.4      | 83      | 12  |
| 184                 | 제주 Cheju         | 33° 31'       | 126° 32'       | 22.0     | 12.3      | 67      | 28  |
| 189                 | 서귀포 Sogwipo      | 33° 14'       | 126° 34'       | 51.9     | 10.0      | 67      | 28  |
| 192                 | 진주 Chinju        | 35° 12'       | 128° 06'       | 21.5     | 10.0      | 70      | 25  |

<표 6-2(b)> 기상 관측소 일람표

| 지점번호<br>Station No. | 관측지점<br>Station | 북위<br>Lat.(N) | 동경<br>Long.(E) | H<br>(m) | Ha<br>(m) | 이용가능 자료 |     |
|---------------------|-----------------|---------------|----------------|----------|-----------|---------|-----|
|                     |                 |               |                |          |           | 시작년     | 보유년 |
| 201                 | 강 화 Kanghwa     | 37° 42'       | 126° 27'       | 46.4     | 6.0       | 74      | 21  |
| 202                 | 양 평 Yangpyong   | 37° 29'       | 127° 29'       | 45.0     | 6.0       | 73      | 22  |
| 203                 | 이 천 Ichon       | 37° 17'       | 127° 26'       | 75.0     | 6.0       | 73      | 22  |
| 211                 | 인 제 Inje        | 38° 03'       | 128° 10'       | 199.7    | 6.0       | 73      | 22  |
| 212                 | 홍 천 Hongchon    | 37° 41'       | 127° 53'       | 141.0    | 6.0       | 73      | 22  |
| 214                 | 삼 척 Samchok     | 37° 22'       | 129° 13'       | 3.9      | 6.0       | 73      | 22  |
| 216                 | 태 백 Taebaek     | 37° 10'       | 128° 59'       | 710.0    | 10.0      | 86      | 9   |
| 221                 | 제 천 Chechen     | 37° 08'       | 128° 12'       | 220.0    | 6.0       | 73      | 22  |
| 223                 | 충 주 Chungju     | 36° 58'       | 127° 55'       | 50.0     | 6.0       | 73      | 22  |
| 226                 | 보 은 Poun        | 36° 29'       | 127° 44'       | 170.0    | 6.0       | 73      | 22  |
| 232                 | 온 양 Onyang      | 36° 47'       | 126° 59'       | 24.5     | 6.0       | 73      | 22  |
| 235                 | 대 천 Taechun     | 36° 20'       | 126° 36'       | 33.0     | 6.0       | 73      | 22  |
| 236                 | 부 여 Puyo        | 36° 16'       | 126° 55'       | 16.0     | 6.0       | 73      | 22  |
| 238                 | 금 산 Kumsan      | 36° 06'       | 127° 28'       | 170.7    | 6.0       | 73      | 22  |
| 243                 | 부 안 Puan        | 35° 43'       | 126° 42'       | 7.0      | 6.0       | 73      | 22  |
| 244                 | 임 실 Imshil      | 35° 37'       | 127° 17'       | 244.0    | 6.0       | 73      | 22  |
| 245                 | 정 주 Chongju     | 35° 34'       | 126° 53'       | 40.5     | 6.0       | 73      | 22  |
| 247                 | 남 원 Namwon      | 35° 25'       | 127° 25'       | 115.0    | 6.0       | 73      | 22  |
| 248                 | 장 수 Changsu     | 35° 39'       | 127° 31'       | 409.3    | 6.0       | 88      | 7   |
| 256                 | 송 주 Sungju      | 35° 04'       | 127° 15'       | 74.0     | 10.0      | 73      | 22  |
| 260                 | 장 흥 Changhung   | 34° 41'       | 126° 55'       | 40.0     | 6.0       | 73      | 22  |
| 261                 | 해 남 Haenam      | 34° 33'       | 126° 35'       | 37.5     | 6.0       | 73      | 22  |
| 262                 | 고 흥 Kohung      | 34° 36'       | 127° 18'       | 32.4     | 6.0       | 73      | 22  |
| 265                 | 성산포 Songsanpo   | 33° 27'       | 126° 55'       | 10.7     | 6.0       | 73      | 22  |
| 271                 | 춘 양 Chunyang    | 36° 57'       | 128° 58'       | 305.0    | 6.0       | 88      | 7   |
| 272                 | 영 주 Yongju      | 36° 50'       | 128° 37'       | 170.0    | 6.0       | 73      | 22  |
| 273                 | 점 촌 Chomchon    | 36° 37'       | 128° 09'       | 172.1    | 6.0       | 73      | 22  |
| 277                 | 영 덕 Yongdok     | 36° 32'       | 129° 25'       | 55.0     | 6.0       | 73      | 22  |
| 278                 | 의 성 Uisong      | 36° 21'       | 128° 41'       | 73.0     | 6.0       | 73      | 22  |
| 279                 | 선 산 Sonsan      | 36° 14'       | 128° 18'       | 40.0     | 6.0       | 73      | 22  |
| 281                 | 영 천 Yongchon    | 35° 58'       | 128° 57'       | 91.3     | 6.0       | 73      | 22  |
| 284                 | 거 창 Kochang     | 35° 40'       | 127° 55'       | 224.9    | 6.0       | 86      | 9   |
| 285                 | 합 천 Hapchon     | 35° 34'       | 128° 10'       | 30.9     | 6.0       | 73      | 22  |
| 288                 | 밀 양 Miryang     | 35° 29'       | 128° 45'       | 12.5     | 6.0       | 73      | 22  |
| 289                 | 산 청 Sanchong    | 35° 25'       | 127° 53'       | 141.8    | 6.0       | 73      | 22  |
| 294                 | 거 제 Koje        | 34° 53'       | 128° 37'       | 12.0     | 9.6       | 73      | 22  |
| 295                 | 남 해 Namhae      | 34° 50'       | 128° 54'       | 15.0     | 16.0      | 73      | 22  |

## 나. 기상자료 DB

전국 68개 기상관측소의 강우량, 평균기온, 증발량, 상대습도, 일조시간, 평균풍속의 일별 자료를 수록하였다. 각 관측소는 하나의 테이블로 구성되어 있으며 테이블 이름이 기상관측소의 code값이기 때문에 특정 기상관측소를 선택하게 되면 이 기상관측소의 code값이 기상자료 DB의 해당 테이블에 접근 할 수 있도록 하였다. 기상자료 DB의 구성요소 및 데이터 형식은 <표 6-3>과 같다.

<표 6-3> 기상자료 DB 구성내역

| 구성요소<br>내역 | 년 도 | 월  | 일  | 강 우 량<br>(mm) | 평 균 기 온<br>(℃) | 증 발 량<br>(mm) | 상 대 습 도<br>(%) | 일 조 시 간<br>(hr) | 평 균 풍 속<br>(m/s) |
|------------|-----|----|----|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------------|------------------|
| 데이터 형식     | 정수  | 정수 | 정수 | 실수            | 실수             | 실수            | 실수             | 실수              | 실수               |

## 다. 작물계수 및 작부시기 DB

필요수량을 산정하기 위해서는 지역별, 재배방식별, 산정방법에 따른 작물 계수가 필요하다. 본 시스템에서 적용하고 있는 작물계수는 지역별로는 중부와 남부로 구분하였으며, 재배방식은 이앙재배와 직파재배로 구분하였고, 산정방법에 따라서는 Penman식과 Blaney-Criddle식으로 구분하였다.

작물계수의 적용은 필요수량 산정시 기상관측소를 선택함으로써 중부와 남부가 구분되도록 하였으며 재배방식과 산정방법은 필요수량 입력창에서 옵션에 의해 선택되도록 하였다. 작물계수 DB는 지역별, 재배방식별, 산정방법별 작물계수를 생육기별로 수록하였으며 그 구성내역은 <표 6-4>와 같다.

<표 6-4> 작물계수 DB 구성내역

| 구성요소<br>내역 | 지역별 | 재배방식 | 산정방법 | 4월중순 | 4월하순 | ~ | 9월중순 |
|------------|-----|------|------|------|------|---|------|
| 데이터 형식     | 정수  | 정수   | 정수   | 실수   | 실수   | ~ | 실수   |

또한 작부시기도 지역별, 재배방식별로 구분 적용해야 한다. 지역은 중부와 남부로 구분할 수 있으며 재배방식은 이앙재배, 담수직파, 건답직파로 구분 적용하였다. 작부시기 DB는 이앙재배의 경우 묘대기간, 이앙기간, 본답기간의 자료가, 직파재배의 경우에는 파종기간의 자료가 수록되어 있으며 작부시기 DB의 구성내역은 <표 6-5>와 같다.

<표 6-5> 작부시기 DB 구성내역

| 구성요소<br>내역 | 지역별 | 이앙재배 |     |     | 담수직파<br>파종기 | 건답직파<br>파종기 |
|------------|-----|------|-----|-----|-------------|-------------|
|            |     | 묘대기  | 이앙기 | 본답기 |             |             |
| 데이터 형식     | 정수  | 문자   | 문자  | 문자  | 문자          | 문자          |
| 필드 크기      | -   | 17   | 17  | 17  | 17          | 17          |

### 6.3.3 하위 시스템의 운영

#### 가. 파일의 관리

프로젝트 파일의 관리는 파일 메뉴에서 수행하게 되며 기존 파일을 열거나 저장할 수 있으며 다른 이름으로 저장하기도 하고 시스템을 종료할 수도 있다. 파일 관리와 관련된 하위 메뉴는 앞의 <그림 6-3>에서 보는 바와 같다.

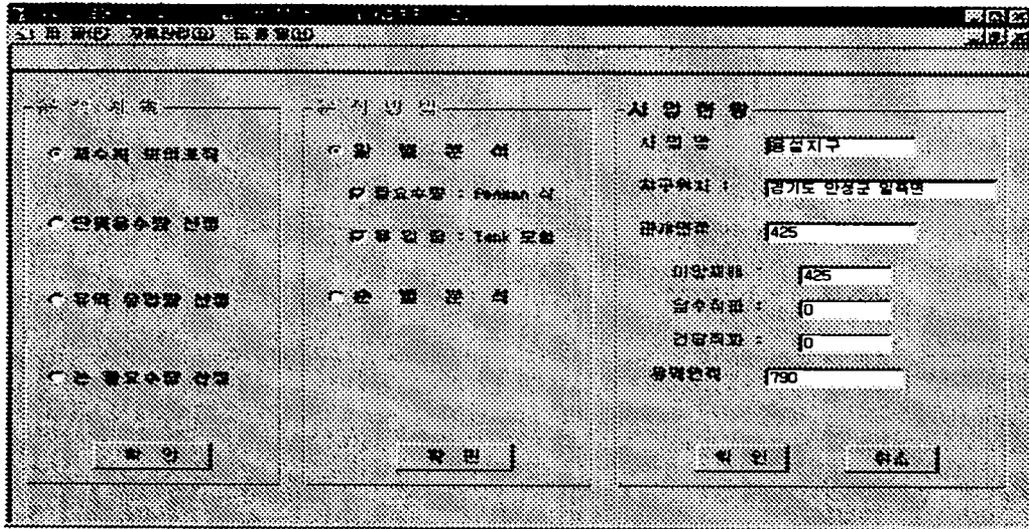
#### 나. 사업계획

사업계획 작성 입력창은 <그림 6-7>과 같이 구성되어있다. 분석계획 및 분석방법을 선택하고 사업명, 유역면적, 관개면적 등의 기초자료를 입력 받을 수 있다. 입력된 자료는 다음 하위 입력창의 기본 자료가 된다.

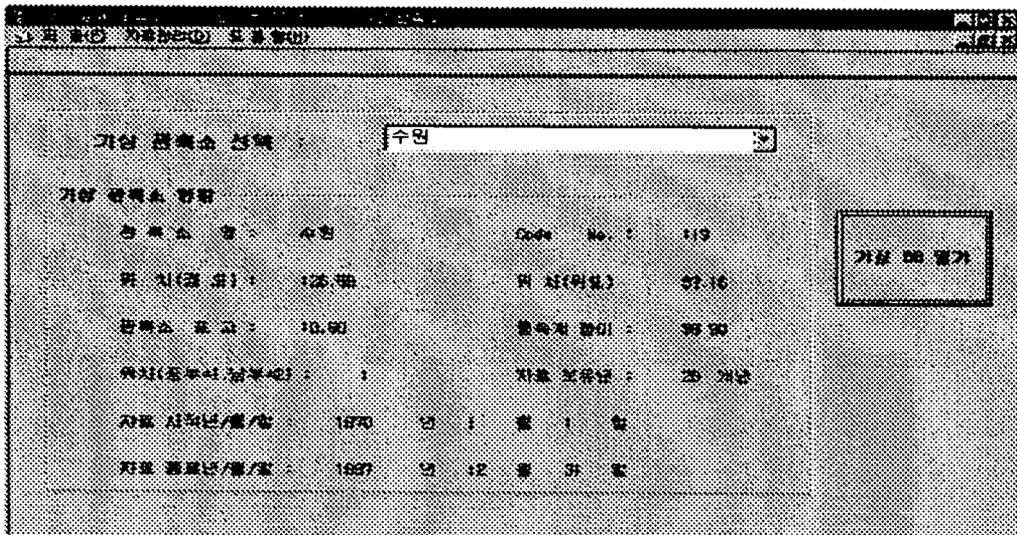
#### 다. 기상 DB 열기

사업계획이 결정되면 해당 사업구역의 기상 DB를 열고 기상자료를 분석

하고 분석기간을 설정하여 입력파일을 작성한다. 기상자료의 분석 결과에 따라 전기간에 대해 분석하거나 대화상자에서 시작년 및 종료년을 입력받아 임의의 분석기간을 설정할 수 있다. 기상자료 DB 열기창은 <그림 6-8>과 같다.



<그림 6-7> 사업계획 작성 입력창



<그림 6-8> 기상자료 DB 열기창

## 라. 필요수량

필요수량 메뉴에서는 논 필요수량을 산정한다. 하위 메뉴에는 입력자료 작성, 필요수량 산정, 결과출력 메뉴로 구성되며 입력자료 작성 메뉴는 필요수량 산정을 위한 입력창을 호출하게되며 입력창에서 필요수량 산정에 필요한 자료를 입력할 수 있다. 작물계수 및 작부시기에 대한 자료의 입력은 DB에 의해 선택된 기상관측소의 code값에 따라 자동으로 작성된다. 필요에 따라 산정방법을 선택할 수 있으며 산정방법은 Penman식에 의한 일별 필요수량, B-C식에 의한 순별 필요수량이 있다. Penman식에 의한 기상관측소 자료도 해당 관측소의 code값에 의해 자동 작성되어진다. 입력자료를 작성후 필요수량을 산정할 수 있다. 한편 출력 메뉴에서는 산정방법에 따라 순별 및 일별 필요수량이 출력되며 재배양식별 일별 세부 계산내역은 별도의 파일로 출력된다. 필요수량 모형의 입력창은 <그림 6-9>과 같다.

The screenshot shows a software interface for calculating required water quantity. The main form includes the following fields:

- 사상계역** (Location): 사상명 (300), 작부형태 (100), 관측소명 (주변), 관측소번호 (2698), 관측소코드 (3727), 관측소코드 (1060), 관측소코드 (5690).
- 산정방법** (Calculation Method): Penman식 (선택), 순별 필요수량, 일별계산 결과 출력 (1997), B-C식 (선택), 순별 필요수량.
- 기상자료** (Weather Data): 관측소명 (주변), 관측소번호 (2698), 관측소코드 (3727), 관측소코드 (1060), 관측소코드 (5690).
- 작물계수** (Crop Coefficient): 작물명 (300), 관측소명 (주변), 관측소번호 (2698), 관측소코드 (3727), 관측소코드 (1060), 관측소코드 (5690).
- 작부시기** (Planting Period): 관측소명 (주변), 관측소번호 (2698), 관측소코드 (3727), 관측소코드 (1060), 관측소코드 (5690).

At the bottom, there is a table for crop coefficients (작물계수) with columns for crop type and planting period. The table data is as follows:

| Penman | 순별 | 일별 | 순별 | 일별 | 순별 | 일별   | 순별   | 일별   | 순별   | 일별   | 순별   | 일별   | 순별   | 일별   | 순별   | 일별 |
|--------|----|----|----|----|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|
| 56     | 56 | 56 | 56 | 75 | 95 | 1.06 | 1.09 | 1.17 | 1.39 | 1.53 | 1.58 | 1.47 | 1.42 | 1.32 | 1.32 |    |
| 56     | 56 | 56 | 56 | 75 | 95 | 1.06 | 1.09 | 1.17 | 1.39 | 1.53 | 1.58 | 1.47 | 1.42 | 1.32 | 1.32 |    |

<그림 6-9> 필요수량 산정 입력창

## 마. 유입량

유입량 메뉴에서는 유역에서의 유입량을 산정한다. 하위 메뉴로는 입력자료의 작성, 유입량 산정, 유입량 출력이 있으며 입력자료를 작성하고 유입량을 산정하여야 한다. 출력 메뉴에서는 산정방법에 따라 순별 및 일별 유입량을 출력하게 되며 일별 유입량의 경우 소유역을 3개까지 분할 할 수 있으므로 각 소유역에 대한 일별 유입량을 출력할 수 있으며 전체유역에 대한 유입량은 각 소유역에 대한 유입량을 합산하여 출력하게 된다. 일별 유입량을 산정하기 위한 유입량 산정 입력창은 <그림 6-10>과 같다.

The screenshot shows a software window titled '유입량(산정)' with the following fields and data:

- 시정구:** 금성지구
- 지구번호:** 경기도 안성군 일죽면
- 유역면적:** 790.0 ha
- 산정방법:**
  - 일별 유입량(Tank 모델)
  - 순별 유입량(Kalymon 시)
- 출력할 계산:**
  - 유역 단위 유역 면적: 1997
  - 소유역 개수: 3
- 출력할 자료:**
  - 일별 유입량

| 소유역  | 유역면적 | 면적       | 유역종류 | 유역종류   | 유역종류 | 산정비율   |      |        |
|------|------|----------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 유역면적 | 금성-1 | 390.0 ha | 유역종류 | 18.7 % | 유역종류 | 2.8 %  | 산정비율 | 78.5 % |
| 유역면적 | 금성-2 | 210.0 ha | 유역종류 | 23.2 % | 유역종류 | 15.6 % | 산정비율 | 66.7 % |
| 유역면적 | 금성-3 | 190.0 ha | 유역종류 | 15.6 % | 유역종류 | 21.6 % | 산정비율 | 60.8 % |

<그림 6-10> 일별 유입량 산정 입력창

## 바. 물수지

물수지 메뉴에서는 필요수량 및 유입량 산정결과와 물수지 산정 입력창에서 입력받은 저수지 특성자료 및 기타 물수지에 필요한 옵션을 입력 받아 물수지 계산을 수행한다. 물수지 계산에서는 필요수량 산정방법 및 유입량 산정방법에

따라 물수지 산정방법이 결정된다. 일별 유입량 및 일별 필요수량을 산정하였을 경우에는 일별 물수지를 할 수 있으며 순별 필요수량을 산정하였을 경우에는 순별 물수지 만이 가능하다. 다만 일별 필요수량을 산정하였을 경우에는 사용자의 선택에 의해 순별로 물수지를 할 수 있다. 또한 생·공업용수, 하천유지용수, 유역외 펌핑유입량, 관개용수의 재이용수량 등은 물수지 옵션 입력창에서 해당 옵션을 선택하고 입력할 수 있도록 하였다. 물수지 입력창은 <그림 6-11>과 같다.

**사건개척**

사건명: 물수지구  
 관측소명: 개소 No. 14  
 관측소명: 개소 No. 14  
 관측소명: 개소  
 Code No.: 144

**물수지내역**

| 구분     | 번호(No.) | 유입(입수량) | 유출(출수량) |
|--------|---------|---------|---------|
| No. 1  | 98      | 2.09    |         |
| No. 2  | 100     | 3.85    |         |
| No. 3  | 102     | 29.23   |         |
| No. 4  | 103     | 57.63   |         |
| No. 5  | 104     | 85.48   |         |
| No. 6  | 106     | 160.96  |         |
| No. 7  | 108     | 242.52  |         |
| No. 8  | 110     | 340.31  |         |
| No. 9  | 112     | 452.89  |         |
| No. 10 | 113.8   | 537.75  |         |
| No. 11 | 115     | 595.43  |         |
| No. 12 | 116     | 653.57  |         |
| No. 13 |         |         |         |
| No. 14 |         |         |         |

**물수지 Option**

일별 물수지  
 10.0 입/출  
 순별 물수지  
 0.0 입/출  
 관개용수 재이용  
 생·공업용수  
 10.0 %  
 하천유지용수  
 유역외 펌핑  
 0.0 입/출  
 관개용수 재이용  
 0.0 입/출

확인

<그림 6-11> 물수지 산정 입력창

## 사. 자료관리

자료관리 메뉴에서는 시스템 운영에 필요한 데이터베이스를 관리한다. 하위 메뉴로는 기상관측소 현황, 작물계수, 작부시기, 기상자료가 있으며 각 메뉴에서는 해당 데이터베이스를 열고 자료를 수정 편집할 수 있도록 하였다. 그러나 기상자료를 수정을 할 경우 전체 시스템의 계산결과에 영향을 미치기 때문에 수정하지 않는 것이 좋다. 기상자료는 6개 기상요소에 대해 연도별, 월별, 일별로 입력되었기에 해당 관측소를 선택 필요한 자료를 추가 할 수 있다. 기상관측소 및 기상자료

입력 및 수정을 위한 DB 열기창은 <그림 6-12> 및 <6-13>와 같다.

| 관측번호 | 관측소명(한) | 관측소명(영)      | 위도    | 경도     | 관측소 높이 | 종류 |
|------|---------|--------------|-------|--------|--------|----|
| 390  | 소초      | sokcho       | 38.15 | 128.34 | 17.6   |    |
| 395  | 차주원     | chorwon      | 38.09 | 127.19 | 154.9  |    |
| 100  | 태강리     | taagwa-lyong | 37.41 | 128.45 | 842    |    |
| 101  | 춘천      | chunchon     | 37.54 | 127.44 | 74     |    |
| 105  | 강릉      | kangnung     | 37.45 | 128.54 | 26     |    |
| 105  | 통해      | tonghae      | 37.3  | 128.07 | 34.5   |    |
| 108  | 서울      | seoul        | 37.54 | 126.58 | 85     |    |
| 112  | 인천      | incheon      | 37.29 | 126.38 | 68.9   |    |
| 114  | 원주      | wonju        | 37.2  | 127.57 | 149.8  |    |
| 115  | 의정부     | uyifungdo    | 37.29 | 130.54 | 221.1  |    |
| 119  | 수원      | suwon        | 37.16 | 126.59 | 36.9   |    |
| 121  | 양주      | yangju       | 37.12 | 128.27 | 241.2  |    |
| 129  | 서산      | seosan       | 36.46 | 126.28 | 19.7   |    |
| 130  | 의주      | uiju         | 36.59 | 129.25 | 49.5   |    |
| 131  | 청주      | chungju      | 36.38 | 127.26 | 59     |    |
| 133  | 태원      | tae-ron      | 36.22 | 127.22 | 67.2   |    |
| 135  | 철원      | chupungnyong | 36.13 | 128    | 245.9  |    |
| 136  | 강릉      | kangnung     | 36.39 | 128.43 | 139.3  |    |
| 138  | 포항      | pohang       | 36.02 | 129.24 | 2.5    |    |
| 140  | 군산      | kunsan       | 35.59 | 126.42 | 26.3   |    |

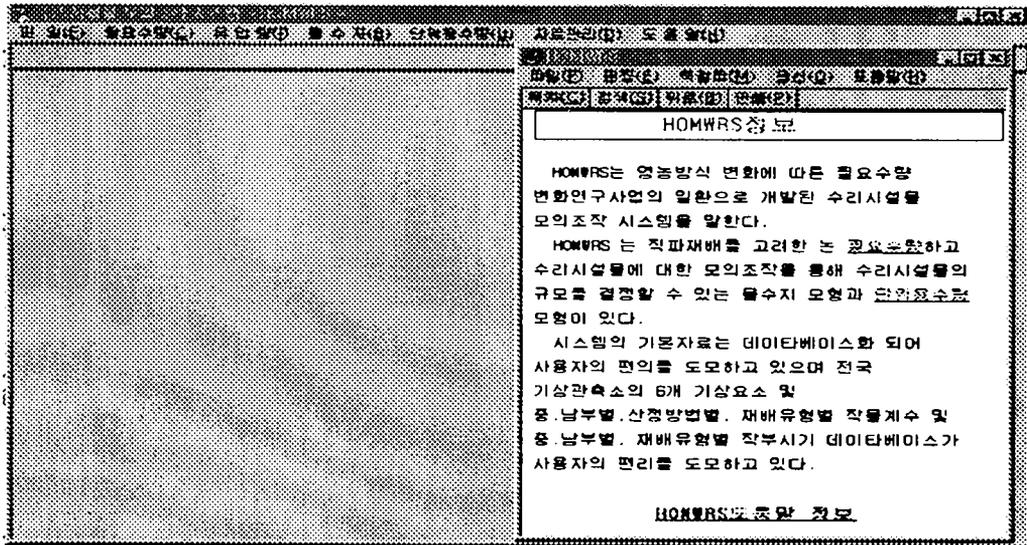
<그림 6-12> 기상관측소 DB 열기창

| 년    | 월 | 일  | 상부속  | 중부속  | 풍도     | 풍도    | 발표시간 | 풍속   |
|------|---|----|------|------|--------|-------|------|------|
| 1970 | 1 | 1  | 0.00 | 0.80 | -1.00  | 85.00 | 4.10 | 0.80 |
| 1970 | 1 | 2  | 0.00 | 1.30 | -0.90  | 75.50 | 5.30 | 0.80 |
| 1970 | 1 | 3  | 0.00 | 2.00 | -3.10  | 64.30 | 8.30 | 1.70 |
| 1970 | 1 | 4  | 0.00 | 1.00 | -11.90 | 82.00 | 8.10 | 3.10 |
| 1970 | 1 | 5  | 0.00 | 1.00 | -14.20 | 58.80 | 8.50 | 2.40 |
| 1970 | 1 | 6  | 0.60 | 0.40 | -3.90  | 89.30 | 1.90 | 2.10 |
| 1970 | 1 | 7  | 0.00 | 1.00 | -6.80  | 72.80 | 8.50 | 0.80 |
| 1970 | 1 | 8  | 1.20 | 1.80 | -3.60  | 73.00 | 6.50 | 2.80 |
| 1970 | 1 | 9  | 0.00 | 1.00 | -8.10  | 64.00 | 8.40 | 1.30 |
| 1970 | 1 | 10 | 2.20 | 0.30 | -6.10  | 82.80 | 4.30 | 1.10 |
| 1970 | 1 | 11 | 0.30 | 1.40 | -4.80  | 83.60 | 7.70 | 1.00 |
| 1970 | 1 | 12 | 0.20 | 1.20 | 0.90   | 79.30 | 7.00 | 2.00 |
| 1970 | 1 | 13 | 0.00 | 1.70 | -8.50  | 57.50 | 7.40 | 3.70 |
| 1970 | 1 | 14 | 0.00 | 2.00 | -10.90 | 60.00 | 8.50 | 1.90 |
| 1970 | 1 | 15 | 0.00 | 1.00 | -12.00 | 56.00 | 8.60 | 2.20 |

<그림 6-13> 기상자료 DB 열기창

## 아. 도움말

사용자 편의를 위해 도움말 기능을 제공한다. 도움말은 시스템 실행중 F1 키투글 키에 의해 열수 있으며 필요한 항목을 열람하고 검색할 수 있다. 도움말 사용예는 <그림 6-14>과 같다.



<그림 6-14> 도움말 사용예

## 6.4 시스템의 적용성 평가

### 6.4.1 적용지구의 선정

수리시설물 모의조작 시스템의 적용성을 평가하고 직파재배에 따른 수리시설물의 영향을 평가하기 위해 경기도 안성군의 기호 농조 관내 용설저수지를 적용지구로 선정하였다. 직파재배에 따른 저수지에서의 필요저수량의 변화는 여러 대상지구를 선정, 장기간 저수위의 변화를 추적함으로써 포장용수량 시험결과 및 재배방식에 따른 필요수량의 변화연구에서 나타난 단일 필지에서의 용수량의 변화가 실제 단일 관개구역을 가지는 저수지에서의 저수위 변화와 어떤 관련이 있는지를 검토하므로써 그 변화 정도를 파악할 수 있을 것이다.

이 장에서는 그동안 수집된 용설저수지의 시간별 저수위 자료 및 방류량 자료를 이용하여 본 시스템으로 산정된 재배방식별 필요수량의 변화가 실제 수원공에서의 저수위와 저수량에 어떠한 영향을 미치는지를 비교 검토하고 용설저수지 관개구역에 대해 제3장 직파적지 산출기준에 의거 직파적지를 산출하므로써 향후 직파재배가 증가하였을 때의 용설저수지에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

용설저수지는 경기도 안성군 죽산면에 위치하며 유역면적 790ha, 관개면적 425ha이며 총 저수량은 3,072 천m<sup>3</sup>, 유효저수량은 2,989천m<sup>3</sup>인 소규모 농업용 저수지로서 일반 현황은 <표 6-6>과 같으며 표고별 내용적 자료는 <표 6-7>과 같다.

<표 6-6> 용설저수지 현황

| 구 분 | 유역면적<br>(ha) | 관개면적<br>(ha) | 총 저수량<br>(천m <sup>3</sup> ) | 제당길이<br>(m) | 제당높이<br>(m) | 준공년도 |
|-----|--------------|--------------|-----------------------------|-------------|-------------|------|
| 현 황 | 790          | 425          | 3,072                       | 459         | 19          | 1992 |

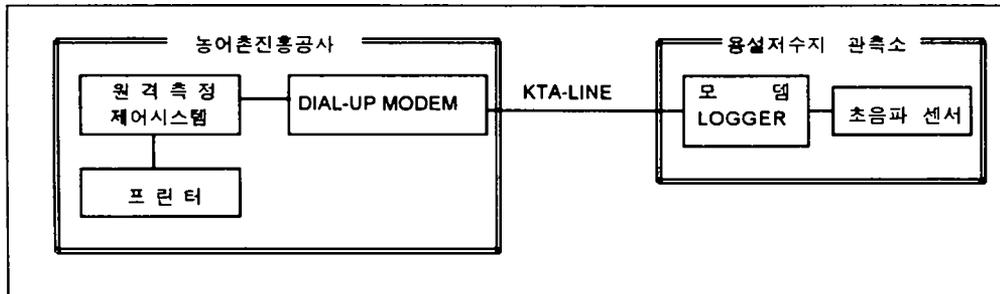
<표 6-7> 용설저수지 내용적 자료

| 표 고<br>(EL.m)             | 97.0 | 98.0 | 100.0 | 102.0 | 103.0 | 104.0 | 106.0  | 108.0  | 110.0   | 112.0   | 113.8   | 115.0   |
|---------------------------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| 면 적<br>(천m <sup>2</sup> ) | 0.0  | 2.09 | 3.85  | 29.23 | 57.63 | 85.48 | 160.96 | 242.52 | 340.31  | 452.89  | 537.75  | 595.43  |
| 내용적<br>(천m <sup>3</sup> ) | 0.0  | 1.0  | 7.0   | 40.1  | 83.5  | 155.1 | 401.5  | 805.0  | 1,387.8 | 2,181.0 | 3,072.6 | 3,752.5 |

### 가. 저수위 자료 수집

본 연구에서는 경기도 안성군의 기호 농조 관내 용설저수지를 선정하여 “저수관리 시스템 개발”(1994, 농어촌진흥공사) 연구사업에서 시범 운영되었던 실시간 저수위 자료수집 시스템을 이용, 매시 단위의 실시간 저수위 자료를 수집하였다.

용설저수지에 설치된 실시간 저수위 자료수집 네트워크는 저수지의 수위관측소와 자료전송을 위한 통신선로 및 자료수집과 전송제어를 위한 조사설계처의 컴퓨터 시스템으로 구성된다. 수위관측소에는 수위계와 측정된 수위를 일시 저장하고 전송하는 Logger 및 모뎀이 있으며 통신선로는 한국통신의 전용회선으로 수위관측소와 본사 조사설계처의 PC 및 모뎀과 연결되어 실시간의 자료전송이 가능하도록 구성되어 있다. 시스템의 구성도는 <그림 6-15>와 같다.



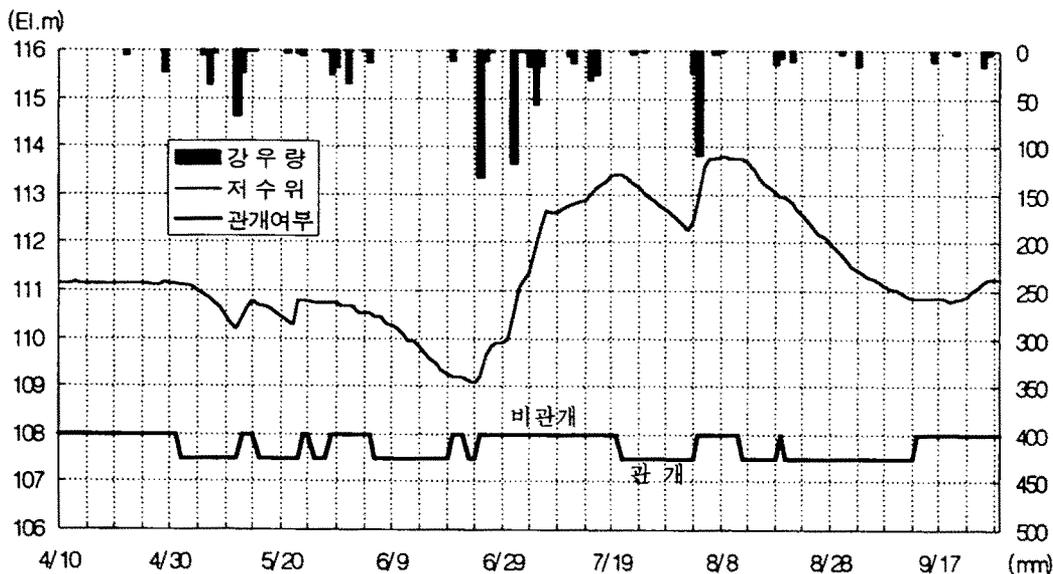
<그림 6-15> 저수위 자료수집 시스템 구성도

### 나. 방류량 자료 수집

저수지 방류량 자료는 용설저수지 관리사무소에서 측정하고 있는 간선용수로의 일별 수위 측정 결과를 수집하여 방류 여부만을 판단하기로 하였다. 이는 현실적으로 용수로 수위자료를 방류량으로 환산하기 어렵기 때문이다. 금회 조사결과 관개기간은 5월 1일에서 9월 13일까지 136일간이며 생육기별 관개여부는 <그림 6-16>

에서 보는 바와 같으며 기상자료는 수원관측소의 자료를 이용하였다..

이상의 저수위 자료, 강우량 및 생육기별 관개여부를 나타내면 <그림 6-16>과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 강우유무 및 관개여부에 따라 용설저수지의 저수위가 변하고 있음을 잘 나타내고 있다.



<그림 6-16> 용설저수지 일별 수위변화

#### 다. 유역상황 조사

유역유입량을 산정하기 위해 유역 피복임상조사를 실시하였다. 총 유역 면적은 790ha이며 산지가 대부분을 차지하고 있다. 유역 피복임상조사 결과는 <표 6-8>과 같으며 유역의 유출상태는 보통으로 판단된다.

<표 6-8> 용설저수지 유역 피복임상상태

| 구 분     | 유역면적  | 산 지   | 논    | 밭    | 기 타  | 비 고 |
|---------|-------|-------|------|------|------|-----|
| 면 적(ha) | 790.0 | 589.4 | 93.0 | 59.4 | 12.6 |     |
| 비 율(%)  | 100.0 | 78.1  | 12.3 | 7.9  | 1.7  |     |

## 라. 직파재배 현황 및 직파적지

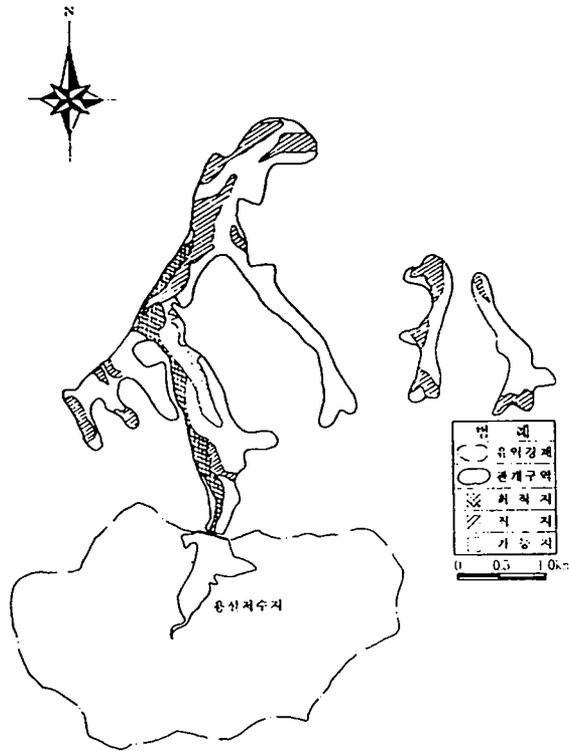
직파재배를 고려한 수리시설물을 설계하기 위해서는 직파 재배면적을 결정해야 한다. 직파재배 면적은 제3장의 직파 물관리 특성조사에서와 같은 요령으로 직파현황을 조사하여 결정할 수 있다. 그러나 아직은 직파재배가 일반화 되어있지 않으며 직파재배가 지역적으로 편중되어 있어 현재의 직파재배면적 만을 가지고 직파재배를 고려한 수리시설물을 설계할 수는 없다. 또한 이러한 방법은 직파재배면적이 향후 증가할 것으로 예상되고 수리시설물의 설계가 미래의 용수수요까지 대비해야 하는 측면을 고려할 때 바람직하지도 않다. 그러므로 관개구역내의 직파적지를 산출하고 지역적 여건 및 영농방식을 감안하여 향후 직파 재배면적을 추정하여야 한다.

향후 직파재배가 확대되었을 경우 수리시설물에 미치는 영향을 평가하기 위해 용설저수지 관개구역에 대하여 직파현황 및 직파적지 조사를 실시하였다. 직파현황 조사결과 '95년도와 '96년도에는 일부 농가에서 소규모의 담수 직파재배를 실시하였으나 '97년도에는 직파재배지가 없는 것으로 나타났다.

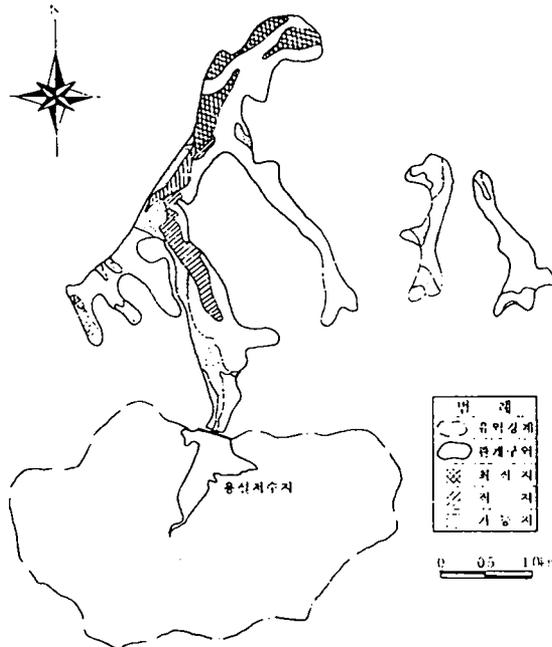
직파적지 조사는 제3장의 직파적지 조사 요령에 의해 조사하였으며 직파적지 토양통에 의해 재배방식별로 직파적지를 구분하고 직파 한계표고 이상의 면적 및 기타 직파 부적지 면적을 제외하여 직파적지 면적을 확정하였다. <그림 6-17> 및 <그림 6-18>은 토양통에 의한 건답직파 및 담수직파의 직파적지 구분도를 나타내고 있으며 <표 6-9>는 위 방법에 의해 결정된 용설저수지의 직파적지 현황이다.

<표 6-9> 용설저수지 재배방식별 직파적지 현황

| 수원공명  | 관개면적<br>(ha) | 건답직파(ha) |      |      | 소 계<br>(ha) | 담수직파(ha) |      |      | 소 계<br>(ha) |
|-------|--------------|----------|------|------|-------------|----------|------|------|-------------|
|       |              | 최적지      | 적지   | 가능지  |             | 최적지      | 적지   | 가능지  |             |
| 용설저수지 | 425.0        | 36.8     | 97.8 | 22.9 | 157.5       | 49.8     | 26.0 | 82.0 | 157.8       |



<그림 6-17> 용설저수지 건담직과 적지 구분도



<그림 6-18> 용설저수지 담수직과 적지 구분도

## 6.4.2 자료의 적용

수리시설물 모의조작 시스템을 이용하여 필요수량을 산정하고 기설수리시설물의 필요저수량의 변화를 검토하기 위해서는 기상자료, 영농계획, 작부체계 및 수리시설물의 특성자료가 필요하다. 자료의 적용은 시스템의 적용성을 검토하기 위한 부분과 향후 직파재배지가 증가하였을 경우의 수리시설물에 미치는 영향을 분석하는 부분으로 나눌 수 있다.

금회 분석에 적용된 작부시기 및 작물계수는 제5장 필요수량 산정 모형의 <표 5-5> 및 <표 5-6>과 같으며 기상자료는 수원관측소의 자료를, 유역특성 및 저수지 내용적 자료는 <표 6-6> 및 <표 6-7>의 값을 적용하였다. 한편 관개구역의 삼투량 및 수로손실은 안축지구 농업용수개발 사업계획서에 적용한 5.0mm/일 및 20%를 각각 적용하였다.

## 6.4.3 시스템의 적정성 평가

기설 용설저수지는 총저수량 3,072.0천m<sup>3</sup>에 만수위 El.m 113.8의 규모로서 본 시스템을 이용하여 저수지 모의조작을 실시함으로써 당초 설계의 적정성 여부를 판단하고 본 시스템의 적용성 여부를 검토하고자 한다. 또한 '97년도의 모의발생된 저수위와 실측 저수위를 비교하여 본 시스템의 적정성을 평가할 수 있을 것이다.

<표 6-10>은 '70년에서 '96년 까지 27개년 동안의 저수지 모의조작 결과이다.

<표 6-10> 용설저수지 모의조작 결과

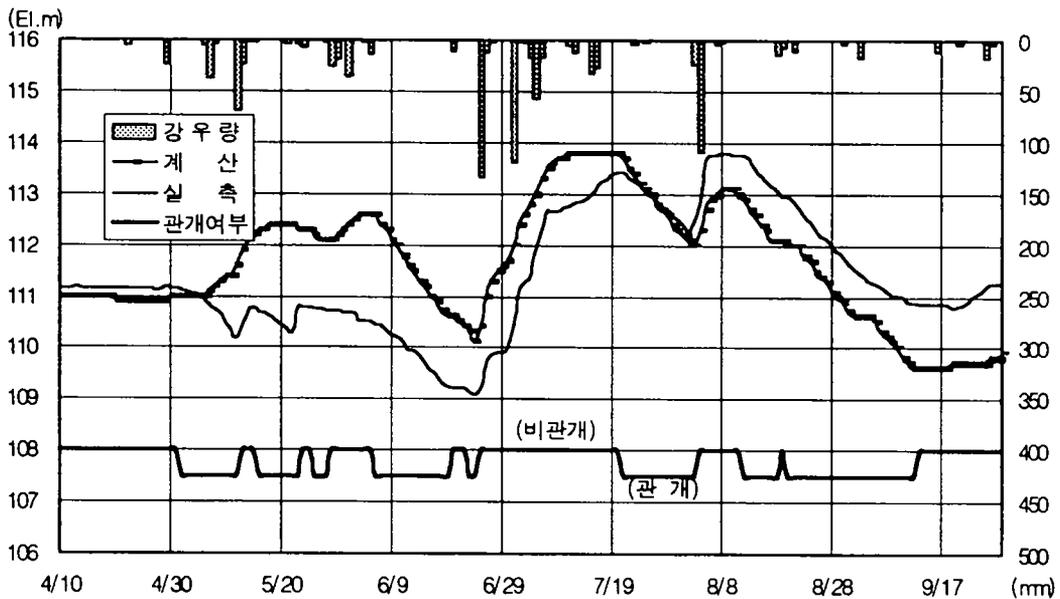
(단위 : 천m<sup>3</sup>, El.m)

| 구 분  | 연 평 균<br>유 입 량 | 연 평 균<br>필요수량 | 연 간<br>물수지 | 물부족<br>년 수 | 필 요<br>저수량 | 결 정<br>만수위 | 비 고              |
|------|----------------|---------------|------------|------------|------------|------------|------------------|
| 일별분석 | 5,912          | 3,940         | +1,972     | 1년         | 3,102      | 113.9      | Penman<br>~Dirom |
| 순별분석 | 5,912          | 3,940         | +1,972     | -          | 2,913      | 113.5      | "                |
| 순별분석 | 6,099          | 3,576         | +2,523     | -          | 2,505      | 112.7      | B-C ~<br>梶山식     |

<표 6-10>의 결과를 볼 때 당초의 용설저수지는 관개면적 425ha에 농업용수 공급을 위해 적절하게 설계되었음을 알 수 있다. 다만 Blaney & Criddle식에 의한 순별 필요수량 및 梶山식에 의한 순별 유입량에 의한 물수지 분석결과에서는 필요수량이 타 방법에 비해 적게 산정되어 저수량에 여유가 있는 것으로 나타났다.

Penman식에 의한 필요수량 및 DIROM 모형에 의한 유입량 산정결과로 일별과 순별로 물수지 하였을 경우에는 용설저수지의 시설규모가 적정함을 잘 반영하고 있으며 순별 물수지를 하였을 경우 물부족 발생년은 없으나 일별 물수지를 하였을 경우 1회에 걸쳐 물부족이 나타나 일별 물수지가 저수지 거동에 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다.

<그림 6-19>는 '97년도 관개기간동안의 모의조작한 결과로 나타난 용설저수지의 일별 수위변화와 저수위 자동수집시스템을 이용하여 수집한 일별 실측수위를 비교한 것을 나타내고 있다. 모의조작시 저수지의 초기 수위는 관측개시일의 수위와 일치하도록 하였다.



<그림 6-19> 용설저수지 일별수위 비교

<그림 6-19>에서 보는 바와 같이 본 시스템을 이용하여 모의발생된 수위는 실측수위와 비슷한 경향을 나타내고는 있으나 일치하지는 않고 있다. 이러한 이유는 용설저수지의 방류여부가 저수지 관리자의 임의 판단에 의해 관개여부가 결정되기 때문으로 이를 모형에 반영할 수 없는 데 기인하는 것으로 나타났다. 본 시스템은 물관리를 위한 모형이 아니므로 임의조작에 의한 일별 조작지침이 반영되지 않고 있다.

그림에서 보는 바와 같이 5월 초순 및 중순에는 강우가 많았음에도 관개일수가 많았으며 조사결과 관개량도 관개기간중 가장 많았으나 모형에서는 그 기간은 묘대기간이므로 용수수요가 많지 않는 것으로 계산된다. 실측 자료에서 관개량이 많은 이유는 이앙재배 못자리 기간에 지선에 까지 용수가 도달하지 않기 때문에 농민들의 요구에 따라 설계기준 보다 많은 용수를 공급하고 있음을 현지조사 결과 알 수 있었다.

이상의 결과로 볼 때 본 수리시설물 모의조작 시스템을 이용하여 시설 수리시설물의 능력을 평가할 수 있으며 향후 직파재배를 고려한 수리시설물의 규모를 결정하는데 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 연구비의 제한으로 여러 대상지구의 장기간의 저수위 변화자료를 수집할 수 없어 본 모형의 적용성을 심도있게 검토할 수 없었던 점은 향후 연구과제에 반영해야 할 것이다.

#### 6.4.4 수리시설물 영향평가

본 수리시설물 모의조작 시스템을 이용하여 향후 직파재배가 확대되었을 경우 수리시설물에 어떠한 영향을 미칠것인지 검토하였다. <표 6-9>에서 보는 바와 같이 용설저수지 관개구역의 직파적지는 전체 관개면적 425.0ha 중 건답직파가 158.0ha, 담수직파가 158.0ha이므로 향후 이 직파적지에 전부 직파재배를 시행하였을 경우에 용설저수지의 용수공급능력을 평가한다. 또한 전체 관개구역에서 전부 담수직파를 실시하거나 건답직파를 실시하였을 경우 용설저수지에 미치는 영향도

검토하기로 한다.

<표 6-11>은 용설저수지 관개구역에 대하여 재배방식별 가정하고 '70년도 부터 '96년까지 27개년 동안 일별로 저수지 모의조작을 실시한 결과를 나타내고 있다.

<표 6-11> 직파재배를 고려한 용설저수지 모의조작 결과

(단위 : ha, 천 m<sup>3</sup>)

| 적 용 조 건 |     |     | 연평균<br>유입량 | 연 평 균<br>필요수량 | 연 간<br>물수지 | 물부족<br>년 수 | 필 요<br>저수량 | 결 정<br>만수위<br>(El.m) | 부 족 량 |       |
|---------|-----|-----|------------|---------------|------------|------------|------------|----------------------|-------|-------|
| 이양      | 건답  | 담수  |            |               |            |            |            |                      | 저수량   | 비율    |
| 267     | 158 | -   | 5,912      | 4,056         | +1,856     | 2년         | 3,217      | 114.1                | 145   | 4.7%  |
| 267     | -   | 158 | "          | 4,399         | +1,513     | 4년         | 3,492      | 114.5                | 420   | 13.7% |
| -       | 425 |     | "          | 4,247         | +1,665     | 3년         | 3,418      | 114.8                | 346   | 11.3% |
| -       | -   | 425 | "          | 5,166         | + 746      | 12년        | 3,783      | 115.0                | 611   | 23.1% |
| -       | 212 | 213 | "          | 4,706         | +1,206     | 6년         | 3,685      | 114.9                | 613   | 20.0% |

<표 6-11>에서 보는 바와 같이 용설저수지 관개구역의 건답 직파적지 모두에 건답직파를 시행할 경우에는 4.7%의 저수량이 더 필요하게 되며 담수 직파적지 모두에 담수직파를 시행할 경우에는 13.7%의 저수량이 더 필요한 것으로 나타났다. 또한 전체 관개구역에 건답직파를 시행할 경우에는 11.3%, 담수직파를 시행할 경우에는 23.1%, 건답과 담수직파를 동일하게 시행할 경우에는 20.0%의 저수지 내용적을 더 확보해야 함을 알 수 있다.

그러므로 용설저수지의 경우 중부지방에서는 담수직파가 주류를 이루고 있고 담수 직파적지가 전체 관개면적의 37%임을 감안 할 때 향후 직파재배가 확대될 경우 최대 13.7% 정도의 용수부족 현상을 나타낼 것으로 판단할 수 있다. 이러한 판단의 근거는 직파적지가 아닌 지역에서는 실제 직파재배가 어렵기 때문이다. 그러나 직파재배는 혼합재배를 할 경우 용수 필요시기가 달라 물관리에 어려움이 많기 때문에 단일 관개구역에서는 집단재배를 지향하게 되므로 전 관개구역에서

담수직파를 실시할 경우를 배제할 수는 없다. 이 경우 20% 내외의 용수부족이 예상된다.

이상의 결과로 볼 때 직파재배에 따른 수원공에서의 용수부족은 건답재배 보다는 담수 직파재배 구역에서 나타날 것이나 현재의 여건에서는 직파재배에 따른 용수부족 문제가 심각할 정도는 아닌 것으로 여겨진다. 이는 현재의 평균 직파비율이 10%내외이며 최대 25%에 달하는 지역도 있으나 이 경우에는 건답직파를 주로 시행하기 때문에 용수부족 정도가 5%내외로 미미하기 때문이다. 이 정도의 용수수요 증가는 물관리 방법의 개선 및 절수재배에 의해 절약 가능할 것이다.

그러나 이와 같은 결과가 절대적일 수는 없다. 용수수요 증가는 담수와 건답의 혼합비율에 따라 크게 달라지며 이는 혼합비율에 따라 담수와 건답직파는 상호 보완적인 초기 용수수요 경향을 나타내기 때문이다. 또한 수리시설물의 특성, 삼투량 등 토양의 물리적 특성이 적용지구와 다를 것이기 때문이다.

## 6.5 시스템의 응용

수리시설물 모의조작 시스템은 여러 수문설계 부분중 관계계획을 수립하기 위한 모형으로 볼 수 있다. 관계계획을 수립하기 위해서는 필요수량을 산정하고 때로는 특정구역의 장기 유출량을 추정하여야 한다. 또한 물수지 분석을 통하여 시설규모를 결정하기도 하며 용수로 등의 설계를 위하여 단위용수량을 산정하고 설계용수량을 결정하여야 한다. 수리시설물 모의조작 시스템에서는 이러한 관계계획 수립을 위한 일련의 과정을 손쉽게 수행 할 수 있을 것으로 기대한다.

관계계획 수립을 위한 기초자료는 기상자료이며 기상자료를 어떻게 관리하느냐가 가장 중요한 관건이다. 본 시스템에서는 각 관측소별 기상자료가 데이터베이스로 구축되어 있으며 이를 관리할 수 있도록 되어 있다.

본 시스템을 이용하여 기상 데이터베이스를 열고 관계계획 수립을 위해 필요

한 기상자료를 해당 응용프로그램 포맷에 맞게 출력하여 사용할 수 있다. 또한 일별 기상자료가 데이터베이스로 구축되어 있으므로 강우량 빈도분석 및 기상자료의 통계처리 응용 프로그램만 있으면 본 시스템에 쉽게 적용할 수 있다. 본 시스템이 기본 시스템 및 응용 프로그램으로 구성되어 있어 기본 시스템에서 응용프로그램을 호출 할 수 있도록 되어있기 때문이다

이를 위해서는 기상자료 데이터베이스가 지속적으로 관리되어야 한다. 기상청으로 부터 매일의 기상일보를 받거나 기상월보를 구독하여 본 시스템을 이용하여 데이터베이스를 구축하게 되면 일관성있는 자료의 관리가 가능하며 기상자료가 필요한 경우 언제든지 해당 응용 프로그램에 맞는 기상데이터를 작성할 수 있다.

본 시스템은 다른 분야에서의 응용도 가능하다. 일별유입량 및 일별 필요수량 계산이 가능하므로 이 자료를 이용하여 보 시설의 규모를 결정할 수도 있으며 양수장 지구의 설계에도 응용할 수 있다.

## 제7장 요약 및 결론

여 백

## 제7장 요약 및 결론

### 7.1 영농방식과 필요수량의 변화

- 1) 최근의 벼 재배방식이 이앙에서 직파로 변화하고 있으며 이는 영농여건의 변화에 대응하기 위한 불가피한 선택이며 향후 점차 증가할 것으로 예상된다.
- 2) 직파재배의 확대에 따라 필요수량의 증가가 예상되며 이에 따라 시설 수리시설물의 용수공급능력에 영향을 미칠것으로 예상된다.

### 7.2 직파현황 및 물관리 특성조사

- 1) 직파재배 면적은 '94년을 기점으로 크게 증가하였으며 '97년 현재는 벼 재배면적의 10.4 %로 이중 건답이 52%, 담수가 48%를 차지하고 있다.
- 2) 직파재배에 따른 수확량 조사결과 이앙재배에 비해 거의 차이가 없었다.
- 3) 경작자 및 관련기관 조사를 통해 직파방식별 물관리 체계를 정립 할 수 있었다.
- 4) 직파현황을 파악하기 위해 표본지구를 선정하여 조사한 결과 대규모 관개구역, 남부지방, 평야지에서 직파가 많이 시행되고 있었으며 대규모 관개구역이 많고 평야지인 남부지역에서는 직파시행비율이 25%를 접하는 지역도 있었다.
- 5) 수원공별 직파현황을 조사한 결과 저수지 구역이 94%, 기타 양수장 및 보 지역이 6%로 나타나 직파재배는 용수공급이 원활한 저수지 관개구역을 중심으로 많이 시행되고 있음을 알 수 있었다.
- 6) 직파적지를 조사한 결과 적지는 재배방식별로 차이는 있었으나 전체 논 면적의 60~70% 정도이며 대규모 관개구역과 평야부에서 높게 나타났다.
- 7) 수원공별 직파적지를 조사한 결과 저수지 구역에서는 60~70%, 양수장 지역에서는 40~60%로 나타났다.

- 8) 표고별 직파시행 여부를 조사한 결과 해발표고 100m 이하 지역에서 전체 재배면적의 70%가 재배되고 있으며 200m 이상은 거의 없는 것으로 나타났다.

### 7.3 직파재배 소비수량 시험

- 1) 증발산량 측정결과 수원에서는 전 생육기간 동안 3개년 평균 5.2mm/day, 대구에서는 5.3mm/day로 나타났다.
- 2) 작물계수 산정결과 Penman식은 수원에서는 전 생육기간 동안 3개년 평균이 조생종의 경우 1.09, 중생종 1.19, 만생종 1.16 이었으며, 대구에서는 조생종 1.08, 중생종 1.11, 만생종 1.10으로 나타났다.
- 3) B-C식은 수원에서는 전 생육기간 동안 3개년 평균이 조생종의 경우 0.80, 중생종 0.87, 만생종 0.86 이었으며, 대구에서는 조생종 0.86, 중생종 0.88, 만생종 0.87으로 나타났다.
- 4) 본 연구 결과로 나타난 작물계수 및 “작물 소비수량 산정기준 정립 연구” 결과를 토대로 전 생육기별, 산정방법별 작물계수를 결정하여 직파재배를 고려한 필요수량 산정에 활용할 수 있도록 하였다.
- 5) 포장용수량 시험결과 생육기간 중 필요수량은 이앙재배에 비하여 건답에서는 2.0%, 담수에서는 22% 정도의 관개용수가 더 필요함을 알 수 있었다.

### 7.4 필요수량 산정 모형

- 1) 직파재배에 따른 필요수량 모형을 개발하기 위해 증발산량의 산정방법, 유효수량과 담수심의 관계, 재배관리용수량과 필요수량과의 관계를 규명하였다.
- 2) 필요수량 산정 모형을 개발하고 포장용수량 시험 결과를 이용하여 적합성을 검토한 결과 이용성이 있는 것으로 나타났다.
- 3) 본 모형을 이용하여 재배방식별 필요수량의 변화를 검토한 결과 단일재배방

식의 경우 이양재배에 비하여 건답직파에서는 10% 내외, 담수직파에서는 30% 내외의 용수량이 더 증가함을 알 수 있었다.

- 4) 본 모형을 이용하여 재배방식이 혼합되어 있는 구역에서의 필요수량의 변화를 검토한 결과 현재의 직파면적 및 재배방식에서는 용수수요의 증가가 적은 것으로 나타났으나 향후 직파적지 모두에 혼합방식의 직파재배를 도입한다면 현재보다 10~20% 정도의 용수증가를 예상할 수 있었다.
- 5) 직파재배에 따른 용수로 설계용수량을 검토한 결과 재배방식별로 최대용수시기가 다르기 때문에 혼합재배방식에서의 설계용수량의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 그러나 집단 직파재배 구역에서는 용수수요가 집중되므로 이를 고려한 용수로 설계가 되도록해야 함을 알 수 있었다.

## 7.5 수리시설물 모의조작 시스템의 개발 및 적용

- 1) 직파재배에 따른 필요저수량을 규명하고 기설 수리시설물의 영향을 평가하기 위해 수리시설물 모의조작 시스템 HOMWRS를 개발하고 적용성을 평가하였다.
- 2) 시스템의 적용성을 평가하기 위해 적용지구를 선정하고 본 시스템을 적용한 결과 사용성 및 적용성이 있는 것으로 나타났다.
- 3) 적용지구(용설 저수지)의 관개구역에 대한 직파적지를 산출하고 본 시스템을 이용하여 저수지에서의 필요저수량의 변화를 검토한 결과 직파적지(관개면적의 37%)모두에 직파재배를 시행할 경우 건답직파에서는 5%, 담수직파에서는 13% 정도의 필요저수량의 증가가 예상되며 관개구역 전부에 건답직파를 실시할 경우에는 10% 내외, 담수직파를 실시할 경우에는 20% 내외의 저수량이 더 필요한 것으로 나타났다.

## 7.6 종합결론

3개년 동안의 영농방식 변화에 따른 필요수량 변화연구 사업을 수행하면서

최종적으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 최근의 영농방식의 변화는 직파재배, 어린모 기계이앙, 환경보존형 지속적 농법, 논·밭 전환, 농업의 기계화 및 자동화, 경지의 대구획화 등으로 대별할 수 있으나 벼 재배방식의 직파재배로의 전환이 가장 두드러지며 가장 많은 필요수량의 변화를 수반할 것으로 예상된다.
- 2) 직파재배는 향후 계속 증가할 것으로 예상되며 증가면적은 직파적지를 고려한 결과 전체 벼 재배면적의 50~60%인 600천ha 정도로 추정된다. 직파방식은 현재에는 건답방식이 많으나 앞으로는 대규모 기계영농에 유리한 담수표면직파 방식이 확대될 것이며 직파기술의 진보에 따라 무경운 직파방식도 도입될 것으로 예상된다.
- 3) 직파재배 소비수량 시험결과 직파재배를 고려하여 필요수량을 산정할 수 있도록 산정방법별 작물계수를 보정하였으며 초기 작물계수는 Penman식의 경우 5월 초순에 0.56, 중순에 0.56, 하순에는 0.75 및 6월 초순에는 0.95로 나타났으며 B-C식의 경우에는 5월 초순에 0.44, 중순에 0.44, 하순에는 0.68, 6월 초순에는 0.71로 나타났다.
- 4) 필요수량 산정 모형을 개발하고 재배방식별 필요수량의 변화를 검토한 결과 건답직파에서는 이앙재배에 비하여 10% 내외, 담수직파에서는 30% 내외의 용수수요 증가를 예상할 수 있으나 이는 혼합재배방식, 지역적 특성 및 토양조건을 고려하여 결정하여야 함을 알 수 있었다.
- 5) 단위용수량 산정 모형을 개발하고 재배방식별 단위용수량을 산정한 결과 혼합재배방식에서는 이앙재배와 거의 비슷하게 산정되어 기존 수로조직에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 나타났다. 그렇지만 용수지선이나 지거를 설계할 경우에는 직파재배 구역의 특성을 파악하여 적용해야 하는 것을 알 수 있었다.
- 7) 직파재배방식에 따른 수리시설물의 영향평가 및 신규 수리시설물의 설계에

활용하기 위해 수리시설물 모의조작 시스템을 개발하였으며 본 시스템을 이용하여 기설수리시설물의 능력을 평가한 결과 향후 재배방식별 직파적지에 전부 직파재배를 시행할 경우 건답직파에서는 5%, 담수직파에서는 20% 정도의 필요저수량이 증가할 것으로 예상되나 이는 혼합방식이나 수원공의 특성에 따라 달라지므로 수리시설물의 설계시 신중을 기해야 함을 알 수 있었다.

- 8) 향후 수리시설물을 설계할 경우에는 직파재배방식의 도입이 예상되므로 이를 고려해야 하며 관개구역의 직파적지를 산정하여 직파재배 예상면적을 추정하고 지역적 특성에 맞는 재배방식을 택하여 본 연구에서 개발된 수리시설물 모의조작 모형을 적용하여 신규 수리시설물의 설계에 이용할 수 있을 것이다.

## 7.7 향후 연구과제

이제까지의 연구결과를 토대로 그 동안 연구과정에서의 문제점과 향후 필요로 하는 연구방향에 대해 언급하면 다음과 같다.

- 1) 직파재배 작물계수 산정을 위한 직파재배 소비수량 시험기간이 짧고 시험포장이 중남부 각 1개소로 국한되어 직파재배 작물계수를 확정하기에는 미흡하였으며 작물계수를 산정하기 위한 증발산량의 측정방법도 문제점이 있는 것으로 나타났다. 그러므로 다음과 같은 연구가 계속되어야 할 것으로 판단된다.
  - 증발산량의 측정장치 및 방법연구
  - 시험포장의 확장 (대학, 연구소)
  - 증발산량 측정포장의 작물 재배기술 개선(표준재배에 준함)
- 2) 직파재배에 따라 수원공에서의 필요저수량의 변화를 면밀히 파악하기 위해서는 직파재배가 많은 기설 수리구역을 선정하여 직파재배에 따른

물관리 방법 및 용수수요의 변화, 저수량의 변화자료를 수집하고 이를 분석하여 필요수량 모형의 검정 및 물관리 방법을 정립해야 할 것으로 판단된다.

이를 요약하면 다음과 같다.

- 단일 수원공을 갖는 실제 포장에서의 직파 물관리 방법
- 직파재배에 따른 용수절약을 위한 물관리 방법
- 직파재배가 시행되는 시설 수원공에서의 필요저수량의 변화
- 직파재배구역 단위용수량의 실제 포장에서의 변화

## 참 고 문 헌

여 백

## 참 고 문 헌

1. 강인식, 1995, 벼의 직파재배와 물관리 대책, 농지개량.
2. 김상수, 백남현, 심순중, 이선용, 김종호, 조동삼, 1994, 벼무논골뿌림재배에서 파종후 논균힘 일수 및 골깊이가 입묘 및 생육에 미치는 영향, 한국작물학회지, 39(6).
3. 김순철, 1995, 수도작 재배에 있어서 농업용수관리 요령, 농지개량, (30~35).
4. 김시원, 김철기, 이기춘, 1984, 新稿 農業水理學, 향문사, pp. 64~104.
5. 김현영, 1987, 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생. 서울대학교 박사학위 논문.
6. 김병진, 박승우, 1994, 기상예보를 고려한 관개용 저수지의 최적조작모형, 한국농공학회지, 36(1)~(3).
7. 농림수산기술정보협회, 1995, 직파답작에 도전(1, 2, 3권), 일본어.
8. 농림부, 농어촌진흥공사, 1986, 작물 소비수량 산정방법의 정립.
9. 농림부, 1993, 저수관리시스템 개발(Ⅱ), 농어촌진흥공사.
10. 농림부, 1994, 경지정리의 최적설계에 관한 연구, 농어촌진흥공사.
11. 농림부, 1996, 농업기반조성사업통계연보.
12. 농림부, 1980, 농지개량사업계획 설계기준, 관개편.
13. 농림부, 1996, 농업생산기반정비사업계획 설계기준, 경지정리편.
14. 농어촌진흥공사, 1975, 물관리의 윤회관개.
15. 농어촌진흥공사, 1980, 안축지구 농업용수개발 실시설계보고서.
16. 농어촌진흥공사, 1991, '90기술업무심사보고서.
17. 농어촌진흥공사, 1980, 농업용수개발 필요수량 기준.
18. 농촌진흥청, 1997, 벼농사 업무 참고자료.
19. 농촌진흥청, 1997, 쌀생산 기술 지도요령.

20. 농촌진흥청, 1995, 벼의 직파재배 기술지도 지침, 농촌진흥청.
21. 문헌팔, 이문희, 이선용 등, 1995, 벼 생력재배, 농촌진흥청.
22. 박래경, 1992, 벼 어린모 기계이앙 재배기술, 농촌진흥청 작물시험장.
23. 박석홍등, 1986, 벼 기계이앙 재배 연구 논문집, 농촌진흥청.
24. 박석홍, 이철원, 양원하, 박래경, 1986, 벼 담수토중직파 재배 연구, 한국작물학회지, 31(2).
25. 박은용, 1991, 수도작, 향문사.
26. 박정근, 김진기, 양환승, 정태진, 이중용, 1995, 쌀농사 이렇게 짓자, 농민문화사.
27. 박정운, 1990, 벼 기계이앙 재배의 신기술, 농촌진흥청 작물시험장.
28. 박창규, 오윤진, 윤용대, 이문희 등, 1991, 벼생력재배, 농촌진흥청.
29. 박희윤등, 1995, 한·일 벼직파재배 세미나, 농촌진흥청 작물시험장.
30. 오윤진, 1991, 벼생력재배 새기술, 농촌진흥청.
31. 윤용대, 1993, 직파재배의 발전 과정, 농촌진흥청.
32. 이남호, 정하우, 박승우, 1988, 반월지구 일별 논 담수심의 특성분석, 한국농공학회지, 30(4).
33. 이병우, 명을재, 1995, 건답직파에서 파종심도와 관개조건에 따른 벼 품종들의 출아특성, 한국작물학회지, 40(1).
34. 이호진, 김수형, 이석순, 1994, 중부와 남부지역 벼 건답직파재배의 생산성과 수익성, 한국작물학회지, 39(5).
35. 이철원, 정기영, 박준택, 1994, 벼 담수직파재배에 있어서 적정입모수 설정, 한국작물학회지, 39(5).
36. 진병태, 1993, 건답직파 재배기술, 농촌진흥청.
37. 최동현, 1995, 가뭄을 대비한 벼 건답직파 재배기술, 농지개량, P50~38.
38. 최진용, 1996, 지리정보시스템을 이용한 장기유출모형의 개발에 관한 연구, 서울대 박사학위 논문.
39. 허재석, 정하우, 1983, 수도의 증발산량 추정방법에 관한 연구, 한국농공학회지, 25(2).

40. Blaine Hanson & Larry Schwankl, 1885, *Surface Irrigation*, University of California, Davis.
41. Louisiana State University, 1995, *87th Annual Research Report*, Rice Research Station, Crowley, Louisiana.
42. M. E. Jensen, 1983, *Design and Operation of Farm Irrigation Systems*, American Society of Agricultural Engineers.
43. Raymond L. Anderson and Arthur Maass, 1987, *A simulation of irrigation systems*, Robert E. Krieger Publishing Company.
44. State of California, 1982, *Low Applied Water on Rice*, Dep. water Resources.
45. University of California, 1989, *Irrigation Scheduling*, Division of Agriculture and Natural Resources Publication 21454.
46. University of California, 1995, *Rice Irrigation Systems for Tailwater Management*, Division of Agriculture and Natural Resources.
47. University of California, 1996, *California Agriculture*, Reports of Research and Reviews.

여 백

# 부 록

여 백

## I. 벼 재배유형별 시행면적('97)

여 백

I - 1 벼 재배유형별 시행면적 (경기)

(단위 : ha)

| 시 군 | 계       | 재 배 방 법 별 면 적(ha) |       |         |          |       |     |       |
|-----|---------|-------------------|-------|---------|----------|-------|-----|-------|
|     |         | 기 계 모 내 기         |       |         | 손<br>모내기 | 직 과   |     |       |
|     |         | 소계                | 어린모   | 중 모     |          | 소 계   | 건 답 | 담 수   |
| 합계  | 123,418 | 122,522           | 7,089 | 115,473 | 147      | 1,637 | 476 | 1,164 |
| 수원시 | 1,517   | 1,471             | 20    | 1,452   | 6        | 40    | 27  | 13    |
| 성남시 | 192     | 179               | 54    | 126     | 6        | 6     | 6   | -     |
| 의정부 | 450     | 438               | -     | 438     | 6        | 6     | 6   | -     |
| 안양시 | 30      | 24                | -     | 24      | 2        | 3     | 1   | 2     |
| 부천시 | 773     | 767               | 223   | 544     | 1        | 5     | -   | 5     |
| 광명시 | 362     | 354               | 202   | 152     | 3        | 5     | -   | 5     |
| 평택시 | 16,963  | 16,867            | 367   | 16,500  | 14       | 81    | 35  | 46    |
| 동두천 | 258     | 251               | 23    | 228     | -        | 7     | 1   | 6     |
| 안산시 | 920     | 911               | 26    | 885     | 3        | 6     | 1   | 5     |
| 고양시 | 3,252   | 2,957             | 339   | 2,618   | 1        | 294   | 36  | 258   |
| 과천시 | 82      | 78                | 16    | 62      | 3        | 1     | -   | 1     |
| 구리시 | 12      | 9                 | -     | 9       | 3        | -     | -   | -     |
| 남양주 | 1,415   | 1,382             | 70    | 1,312   | 29       | 4     | 2   | 2     |
| 오산시 | 845     | 841               | -     | 841     | 1        | 3     | -   | 3     |
| 시흥시 | 1,971   | 1,962             | 1,123 | 839     | -        | 9     | 5   | 4     |
| 군포시 | 163     | 157               | -     | 157     | 3        | 3     | 1   | 2     |
| 의왕시 | 159     | 150               | 13    | 136     | 2        | 7     | -   | 7     |
| 하남시 | 350     | 344               | 20    | 324     | 2        | 4     | -   | 4     |
| 용인시 | 6,196   | 6,171             | 91    | 6,140   | -        | 25    | -   | 25    |
| 파주군 | 10,044  | 9,772             | 104   | 9,668   | 5        | 267   | 121 | 146   |
| 이천군 | 10,507  | 10,275            | 550   | 9,725   | 4        | 228   | 3   | 225   |
| 양주군 | 2,828   | 2,788             | 610   | 2,178   | -        | 40    | 8   | 32    |
| 여주군 | 9,924   | 9,830             | -     | 9,830   | 17       | 77    | 13  | 64    |
| 화성군 | 16,845  | 16,784            | 10    | 16,774  | 16       | 46    | 23  | 23    |
| 광주군 | 2,059   | 2,002             | 500   | 1,502   | -        | 48    | 6   | 42    |
| 연천군 | 4,296   | 4,247             | 52    | 4,195   | -        | 49    | 30  | 19    |
| 포천군 | 5,474   | 5,450             | 91    | 5,359   | -        | 24    | -   | 24    |
| 가평군 | 1,052   | 1,938             | -     | 1,938   | -        | 14    | 9   | 6     |
| 양평군 | 5,829   | 5,791             | 10    | 5,761   | 15       | 20    | -   | 23    |
| 안성군 | 10,414  | 10,313            | 2,574 | 7,739   | 5        | 96    | 10  | 87    |
| 김포군 | 8,236   | 8,018             | -     | 8,018   | -        | 218   | 132 | 86    |

I - 2 벼 재배유형별 시행면적 (강원)

(단위 : ha)

| 시 군 | 계      | 재 배 방 법 별 면 적(ha) |       |        |          |       |     |     |
|-----|--------|-------------------|-------|--------|----------|-------|-----|-----|
|     |        | 기 계 모 내 기         |       |        | 손<br>모내기 | 직 과   |     |     |
|     |        | 소계                | 어린모   | 중 모    |          | 소 계   | 건 답 | 담 수 |
| 합 계 | 46,567 | 45,464            | 7,396 | 38,068 | 70       | 1,033 | 315 | 718 |
| 춘천시 | 2,870  | 2,757             | 1,111 | 1,646  | 8        | 105   | 68  | 37  |
| 원주시 | 4,977  | 4,673             | 1,001 | 3,672  | 8        | 296   | 84  | 212 |
| 강릉시 | 4,340  | 4,244             | 249   | 3,995  | 9        | 87    | 58  | 29  |
| 동해시 | 360    | 355               | 164   | 191    | 5        | -     | -   | -   |
| 속초시 | 470    | 449               | 182   | 267    | -        | 21    | -   | 21  |
| 삼척군 | 1,130  | 1,033             | 277   | 756    | 3        | 94    | 58  | 36  |
| 홍천군 | 5,060  | 5,015             | 200   | 2,815  | -        | 45    | 10  | 35  |
| 횡성군 | 4,360  | 4,301             | -     | 4,301  | 17       | 42    | 18  | 24  |
| 영월군 | 1,160  | 1,138             | 100   | 1,038  | 12       | 10    | -   | 10  |
| 평창군 | 1,040  | 1,038             | -     | 1,038  | 2        | -     | -   | -   |
| 정선군 | 540    | 540               | -     | 540    | -        | -     | -   | -   |
| 철원군 | 9,920  | 9,832             | -     | 9,832  | -        | 88    | -   | 88  |
| 화천군 | 1,410  | 1,365             | 493   | 872    | -        | 45    | -   | 45  |
| 양구군 | 2,130  | 2,114             | 180   | 1,934  | 6        | 10    | -   | 10  |
| 인제군 | 1,270  | 1,270             | -     | 1,270  | -        | -     | -   | -   |
| 고성군 | 3,120  | 2,968             | 239   | 2,729  | -        | 152   | 19  | 133 |
| 양양군 | 2,410  | 2,372             | 1,200 | 1,172  | -        | 38    | -   | 38  |

I - 3 벼 재배유형별 시행면적 (충북)

(단위 : ha)

| 시 군 | 계      | 재 배 방 법 별 면 적(ha) |        |        |          |       |     |     |
|-----|--------|-------------------|--------|--------|----------|-------|-----|-----|
|     |        | 기 계 모 내 기         |        |        | 손<br>모내기 | 작 과   |     |     |
|     |        | 소계                | 어린모    | 중 모    |          | 소 계   | 건 답 | 담 수 |
| 합 계 | 59,998 | 58,487            | 18,097 | 40,390 | 299      | 1,213 | 321 | 891 |
| 청주시 | 3,380  | 3,318             | 500    | 2,818  | 2        | 60    | 11  | 49  |
| 충주시 | 7,697  | 7,599             | 1,580  | 6,019  | 7        | 91    | 60  | 31  |
| 제천시 | 3,200  | 3,145             | 327    | 2,818  | 53       | 2     | -   | 2   |
| 청원군 | 12,080 | 11,865            | 3,506  | 8,359  | 13       | 203   | 8   | 194 |
| 보은군 | 5,470  | 5,304             | 1,920  | 3,384  | 3        | 163   | 129 | 34  |
| 옥천군 | 3,600  | 3,565             | 1,403  | 2,163  | 15       | 19    | 15  | 4   |
| 영동군 | 2,800  | 2,755             | 1,616  | 1,139  | 5        | 40    | 25  | 15  |
| 진천군 | 6,650  | 6,554             | 625    | 5,929  | 16       | 80    | 20  | 60  |
| 괴산군 | 5,370  | 5,170             | 1,560  | 3,610  | 50       | 150   | 10  | 140 |
| 음성군 | 7,570  | 7,234             | 4,924  | 2,310  | 21       | 315   | 43  | 272 |
| 단양군 | 900    | 789               | 56     | 733    | 111      | -     | -   | -   |
| 증평읍 | 1,281  | 1,188             | 80     | 1,108  | 3        | 90    | -   | 90  |

I - 4 벼 재배유형별 시행면적 (충남)

(단위 : ha)

| 시 군 | 계       | 재 배 방 법 별 면 적(ha) |        |         |          |        |       |        |
|-----|---------|-------------------|--------|---------|----------|--------|-------|--------|
|     |         | 기 계 모 내 기         |        |         | 손<br>모내기 | 직 파    |       |        |
|     |         | 소계                | 어린모    | 중 모     |          | 소 계    | 건 답   | 담 수    |
| 합 계 | 176,267 | 152,873           | 51,261 | 101,612 | 790      | 22,604 | 6,460 | 16,144 |
| 천안시 | 9,728   | 8,987             | 5,855  | 3,132   | 11       | 730    | 130   | 600    |
| 공주시 | 10,893  | 10,037            | 2,252  | 7,785   | 91       | 765    | 197   | 568    |
| 보령시 | 11,304  | 10,580            | 4,159  | 6,421   | 28       | 696    | 576   | 120    |
| 아산시 | 13,182  | 12,552            | 5,044  | 7,508   | -        | 630    | 430   | 200    |
| 서산시 | 19,351  | 11,969            | 3,422  | 8,547   | 29       | 7,353  | 599   | 6,754  |
| 논산시 | 15,640  | 14,190            | 3,184  | 11,006  | 26       | 1,424  | 605   | 819    |
| 금산군 | 3,851   | 3,351             | 185    | 3,166   | 95       | 400    | 92    | 308    |
| 연기군 | 5,715   | 5,292             | 1,817  | 3,475   | 3        | 420    | 372   | 48     |
| 부여군 | 14,703  | 12,918            | 3,645  | 9,273   | 200      | 1,585  | 1,515 | 70     |
| 서천군 | 10,793  | 9,733             | 2,416  | 7,317   | 60       | 1,000  | 880   | 120    |
| 청양군 | 6,853   | 6,323             | 2,453  | 3,870   | 29       | 501    | 402   | 99     |
| 홍성군 | 9,551   | 7,450             | 1,950  | 5,500   | 63       | 2,038  | 200   | 1,838  |
| 예산군 | 13,063  | 11,658            | 5,440  | 6,218   | -        | 1,405  | 102   | 1,303  |
| 태안군 | 10,494  | 7,814             | 1,783  | 6,031   | 23       | 2,657  | 160   | 2,497  |
| 당진군 | 21,146  | 20,014            | 7,656  | 12,358  | 132      | 1,000  | 200   | 800    |

I - 5 벼 재배유형별 시행면적 (전북)

(단위 : ha)

| 시 군 | 계       | 재 배 방 법 별 면 적(ha) |        |         |          |        |        |       |
|-----|---------|-------------------|--------|---------|----------|--------|--------|-------|
|     |         | 기 계 모 내 기         |        |         | 손<br>모내기 | 직 파    |        |       |
|     |         | 소계                | 어린모    | 중 모     |          | 소계     | 건 답    | 담 수   |
| 합 계 | 155,644 | 132,936           | 26,985 | 105,951 | 279      | 22,429 | 19,534 | 2,895 |
| 전주시 | 4,269   | 3,274             | 1,236  | 2,038   | 45       | 950    | 921    | 29    |
| 군산시 | 13,854  | 10,229            | 670    | 9,559   | 0        | 3,625  | 3,620  | 5     |
| 익산시 | 21,152  | 15,192            | 6,805  | 8,387   | 0        | 5,960  | 5,260  | 700   |
| 정읍시 | 19,257  | 17,178            | 2,765  | 14,413  | 17       | 2,062  | 2,047  | 15    |
| 남원시 | 13,094  | 12,686            | 364    | 12,322  | 38       | 370    | 345    | 25    |
| 김제시 | 23,768  | 20,318            | 470    | 19,848  | 0        | 3,450  | 3,400  | 50    |
| 완주군 | 7,032   | 4,742             | 1,275  | 3,467   | 4        | 2,286  | 1,750  | 536   |
| 진안군 | 4,031   | 3,968             | 3      | 3,965   | 3        | 60     | 27     | 33    |
| 무주군 | 2,185   | 2,110             | 0      | 2,110   | 70       | 5      | 5      | 0     |
| 장수군 | 4,074   | 4,006             | 312    | 3,694   | 59       | 9      | 5      | 4     |
| 임실군 | 5,644   | 5,491             | 1,426  | 4,065   | 0        | 153    | 102    | 51    |
| 순창군 | 7,450   | 6,465             | 603    | 5,862   | 36       | 949    | 585    | 364   |
| 고창군 | 14,509  | 13,684            | 4,856  | 8,828   | 7        | 818    | 644    | 174   |
| 부안군 | 15,325  | 13,593            | 6,200  | 7,393   | 0        | 1,732  | 823    | 909   |

I - 6 벼 재배유형별 시행면적 (전남)

(단위 : ha)

| 시 군 | 계       | 재 배 방 법 별 면 적(ha) |        |        |          |        |        |        |
|-----|---------|-------------------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|
|     |         | 기 계 모 내 기         |        |        | 손<br>모내기 | 직 과    |        |        |
|     |         | 소계                | 어린모    | 중 모    |          | 소 계    | 건 답    | 담 수    |
| 합 계 | 205,991 | 161,895           | 68,489 | 93,406 | 1,639    | 42,457 | 13,724 | 28,733 |
| 목포시 | 423     | 309               | 155    | 154    | 0        | 114    | 41     | 73     |
| 여수시 | 124     | 110               | 95     | 15     | 7        | 7      | 0      | 7      |
| 순천시 | 9,216   | 7,401             | 4,985  | 2,416  | 823      | 992    | 649    | 343    |
| 나주시 | 15,264  | 10,701            | 2,313  | 8,388  | 40       | 4,525  | 2,670  | 1,855  |
| 여천시 | 3,759   | 3,215             | 2,565  | 650    | 126      | 418    | 217    | 201    |
| 광양시 | 4,642   | 3,462             | 1,470  | 1,992  | 170      | 1,050  | 440    | 610    |
| 담양군 | 8,333   | 7,062             | 5,389  | 1,673  | 18       | 1,253  | 276    | 977    |
| 곡성군 | 6,059   | 5,015             | 1,619  | 3,396  | 118      | 926    | 383    | 543    |
| 구례군 | 3,908   | 3,428             | 1,597  | 1,831  | 93       | 387    | 310    | 77     |
| 고흥군 | 13,659  | 8,307             | 3,676  | 4,631  | 10       | 1,342  | 200    | 1,142  |
| 보성군 | 10,672  | 8,149             | 3,420  | 4,729  | 19       | 2,504  | 614    | 1,890  |
| 화순군 | 7,460   | 6,195             | 1,400  | 4,795  | 161      | 1,094  | 634    | 460    |
| 장흥군 | 10,425  | 9,526             | 1,956  | 7,570  | 21       | 878    | 78     | 800    |
| 강진군 | 10,821  | 9,853             | 2,898  | 6,955  | 1        | 967    | 169    | 798    |
| 해남군 | 25,478  | 1,4855            | 5,698  | 9,157  | 0        | 10,623 | 1,344  | 9,279  |
| 영암군 | 17,296  | 9,243             | 3,037  | 6,206  | 2        | 8,051  | 2,585  | 5,466  |
| 무안군 | 10,115  | 8,226             | 6,688  | 1,538  | 3        | 1,886  | 1,004  | 882    |
| 함평군 | 9,469   | 8,325             | 2,721  | 5,604  | 10       | 1,094  | 430    | 664    |
| 영광군 | 11,238  | 9,713             | 4,326  | 5,387  | 15       | 1,510  | 1,100  | 410    |
| 장성군 | 7,665   | 5,987             | 4,361  | 1,626  | 14       | 1,664  | 336    | 1,328  |
| 완도군 | 3,314   | 3,131             | 1,488  | 1,643  | 23       | 160    | 51     | 109    |
| 진도군 | 6,411   | 6,012             | 1,527  | 4,485  | 0        | 599    | 77     | 522    |
| 신안군 | 10,260  | 9,840             | 1,075  | 8,765  | 7        | 413    | 116    | 297    |

I - 7 벼 재배유형별 시행면적 (경북)

(단위 : ha)

| 시 군 | 계       | 재 배 방 법 별 면 적(ha) |        |         |         |        |        |     |
|-----|---------|-------------------|--------|---------|---------|--------|--------|-----|
|     |         | 기 계 모 내 기         |        |         | 손 모 내 기 | 직 과    |        |     |
|     |         | 소 계               | 어 린 모  | 중 모     |         | 소 계    | 건 답    | 담 수 |
| 합 계 | 136,732 | 121,665           | 19,519 | 102,145 | 4,409   | 10,657 | 10,657 | 202 |
| 포항시 | 9,394   | 9,088             | 651    | 8,437   | 229     | 77     | 77     | 0   |
| 경주시 | 14,761  | 13,372            | 944    | 12,428  | 252     | 1,137  | 1,125  | 12  |
| 김천시 | 6,950   | 55,640            | 110    | 5,454   | 536     | 850    | 850    | 0   |
| 안동시 | 7,380   | 6,020             | 2,753  | 3,267   | 400     | 960    | 960    | 0   |
| 구미시 | 8,173   | 6,996             | 163    | 6,833   | 5       | 1,175  | 1,159  | 16  |
| 영주시 | 5,779   | 5,516             | 1,206  | 4,310   | 143     | 120    | 100    | 20  |
| 영천시 | 5,377   | 4,554             | 1,100  | 3,154   | 103     | 720    | 720    | 0   |
| 상주시 | 16,744  | 15,659            | 870    | 14,789  | 37      | 1,048  | 1,033  | 15  |
| 문경시 | 5,881   | 5,000             | 1,990  | 3,010   | 391     | 490    | 480    | 10  |
| 경산시 | 1,949   | 1,874             | 55     | 1,819   | 45      | 30     | 30     | 0   |
| 군위군 | 2,887   | 2,699             | 338    | 2,361   | 49      | 139    | 139    | 0   |
| 의성군 | 11,295  | 10,396            | 771    | 9,625   | 255     | 644    | 634    | 10  |
| 청송군 | 1,950   | 1,879             | 5      | 1,874   | 61      | 10     | 10     | 0   |
| 영양군 | 1,051   | 901               | 39     | 862     | 147     | 3      | 3      | 0   |
| 영덕군 | 3,172   | 2,776             | 212    | 2,564   | 65      | 330    | 330    | 0   |
| 청도군 | 4,331   | 3,786             | 668    | 3,118   | 120     | 425    | 425    | 0   |
| 고령군 | 4,745   | 4,018             | 2,803  | 1,215   | 170     | 557    | 556    | 1   |
| 성주군 | 4,180   | 3,041             | 2,218  | 823     | 584     | 555    | 470    | 85  |
| 칠곡군 | 3,650   | 2,817             | 1,592  | 1,225   | 156     | 677    | 677    | 0   |
| 예천군 | 10,325  | 9,547             | 945    | 8,602   | 172     | 606    | 596    | 10  |
| 봉화군 | 3,400   | 3,113             | 86     | 3,026   | 282     | 5      | 5      | 0   |
| 울진군 | 3,355   | 3,049             | 0      | 3,049   | 207     | 99     | 76     | 23  |

I - 8 벼 재배유형별 시행면적 (경남)

(단위 : ha)

| 시 군 | 계       | 재 배 방 법 별 면 적(ha) |        |        |            |       |       |       |
|-----|---------|-------------------|--------|--------|------------|-------|-------|-------|
|     |         | 기 계 모 내 기         |        |        | 손<br>모 내 기 | 직 과   |       |       |
|     |         | 소 계               | 어 린 모  | 중 모    |            | 소 계   | 건 답   | 담 수   |
| 합 계 | 113,734 | 104,900           | 17,215 | 87,685 | 4,463      | 4,662 | 3,872 | 1,127 |
| 창원시 | 3,433   | 3,207             | 100    | 3,107  | 35         | 191   | 186   | 5     |
| 울산시 | 9,148   | 8,663             | 1,744  | 6,919  | 72         | 413   | 410   | 3     |
| 마산시 | 2,069   | 1,964             | 372    | 1,592  | 39         | 66    | 64    | 2     |
| 진주시 | 8,068   | 7,757             | 1,666  | 6,091  | 8          | 303   | 208   | 95    |
| 진해시 | 512     | 431               | 150    | 181    | 55         | 26    | 24    | 2     |
| 통영군 | 980     | 860               | 263    | 597    | 30         | 90    | 50    | 40    |
| 사천군 | 6,021   | 5,840             | 331    | 5,509  | 1          | 180   | 90    | 90    |
| 김해시 | 6,315   | 6,136             | 40     | 6,096  | 19         | 160   | 141   | 19    |
| 밀양시 | 8,359   | 7,388             | 204    | 7,184  | 138        | 833   | 813   | 20    |
| 거제시 | 2,713   | 2,424             | 920    | 1,504  | 251        | 38    | 0     | 38    |
| 양산군 | 2,290   | 2,194             | 439    | 1,755  | 45         | 51    | 51    | 0     |
| 의령군 | 4,956   | 4,654             | 0      | 4,654  | 256        | 46    | 46    | 0     |
| 함안군 | 6,947   | 6,528             | 2,032  | 4,476  | 16         | 403   | 335   | 68    |
| 창녕군 | 7,577   | 7,268             | 494    | 6,774  | 143        | 166   | 166   | 0     |
| 고성군 | 7,964   | 7,773             | 2,169  | 5,604  | 45         | 146   | 89    | 61    |
| 남해군 | 3,944   | 3,559             | 1,470  | 2,089  | 235        | 150   | 60    | 90    |
| 하동군 | 7,170   | 6,520             | 964    | 5,556  | 415        | 235   | 152   | 83    |
| 산청군 | 5,758   | 5,329             | 1,689  | 3,640  | 368        | 61    | 54    | 7     |
| 함양군 | 4,769   | 3,753             | 15     | 3,738  | 821        | 195   | 186   | 9     |
| 거창군 | 6,079   | 5,152             | 428    | 4,724  | 649        | 278   | 124   | 154   |
| 합천군 | 8,953   | 7,500             | 1,635  | 5,875  | 822        | 631   | 627   | 4     |

## Ⅱ. 주요 기상자료

# 여 백

II-1 수원 측후소의 주요 기상자료(5월)

| 날짜  | 평균<br>기온<br>(℃) | 최고<br>기온<br>(℃) | 최저<br>기온<br>(℃) | 상대<br>습도<br>(%) | 평균<br>풍속<br>(m/s) | Pan<br>증발량<br>(mm) | 강우량<br>(mm) | 일조<br>시간<br>(hrs) | 일사량<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| 1   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 2   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 3   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 4   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 5   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 평균  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 6   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 7   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 8   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 9   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 10  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 평균  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 11  | 18.6            | 23.9            | 11.7            | 53              | 2.1               | 4.9                | 0.0         | 8.5               | 17.79                       |
| 12  | 18.3            | 20.1            | 16.0            | 74              | 4.3               | 0.7                | 52.2        | 0.0               | 2.74                        |
| 13  | 16.9            | 18.7            | 15.9            | 93              | 3.1               | 1.6                | 56.9        | 0.0               | 1.76                        |
| 14  | 16.5            | 17.7            | 15.3            | 89              | 0.6               | 1.8                | 2.0         | 0.0               | 3.20                        |
| 15  | 19.5            | 24.7            | 16.6            | 83              | 0.6               | 3.0                | 1.5         | 3.1               | 8.84                        |
| 평균  | 18.0            | 21.0            | 15.1            | 78              | 2.1               | 2.4                | 22.5        | 2.3               | 6.87                        |
| 16  | 17.2            | 28.8            | 12.4            | 61              | 1.9               | 6.5                | 0.0         | 9.9               | 20.96                       |
| 17  | 16.8            | 23.1            | 10.5            | 59              | 2.6               | 5.8                | 0.0         | 10.3              | 18.91                       |
| 18  | 18.1            | 23.2            | 12.4            | 63              | 1.1               | 6.0                | 0.0         | 11.3              | 20.62                       |
| 19  | 16.0            | 19.9            | 14.0            | 68              | 1.7               | 5.8                | 1.6         | 8.5               | 19.42                       |
| 20  | 14.2            | 17.9            | 11.5            | 70              | 0.8               | 2.4                | 2.1         | 3.4               | 7.91                        |
| 평균  | 16.5            | 22.6            | 12.2            | 64              | 1.6               | 5.3                | 0.7         | 8.7               | 17.56                       |
| 21  | 15.5            | 20.4            | 10.3            | 64              | 1.6               | 2.4                | 0.0         | 8.3               | 16.93                       |
| 22  | 16.6            | 22.9            | 11.3            | 66              | 1.9               | 4.5                | 0.0         | 10.2              | 22.06                       |
| 23  | 15.1            | 19.2            | 9.9             | 65              | 1.9               | 5.8                | 20.4        | 1.7               | 7.39                        |
| 24  | 14.1            | 18.2            | 9.2             | 71              | 1.8               | 3.8                | 0.4         | 3.3               | 9.27                        |
| 25  | 15.8            | 21.2            | 10.1            | 69              | 1.8               | 3.3                | 0.0         | 10.4              | 23.74                       |
| 평균  | 15.4            | 20.4            | 10.2            | 67              | 1.8               | 4.0                | 4.2         | 6.8               | 15.88                       |
| 26  | 18.4            | 23.1            | 12.8            | 53              | 2.3               | 5.9                | 0.0         | 9.7               | 17.76                       |
| 27  | 19.0            | 23.8            | 13.5            | 59              | 2.1               | 5.3                | 0.6         | 6.3               | 18.04                       |
| 28  | 17.7            | 20.8            | 15.5            | 75              | 2.6               | 5.1                | 4.8         | 3.2               | 9.13                        |
| 29  | 17.8            | 20.6            | 15.0            | 85              | 1.1               | 2.4                | 25.9        | 0.0               | 7.61                        |
| 30  | 16.6            | 19.1            | 13.4            | 85              | 2.6               | 2.7                | 20.9        | 0.0               | 5.29                        |
| 31  | 19.5            | 25.7            | 13.5            | 66              | 1.9               | 1.6                | 0.0         | 9.3               | 19.20                       |
| 평균  | 18.2            | 22.2            | 14.0            | 71              | 2.1               | 3.8                | 8.7         | 4.8               | 12.84                       |
| 월평균 | 16.9            | 21.4            | 12.7            | 70              | 1.9               | 3.8                | 9.2         | 5.6               | 13.16                       |

II-2 수원 측후소의 주요 기상자료(6월)

| 날짜  | 평균<br>기온<br>(℃) | 최고<br>기온<br>(℃) | 최저<br>기온<br>(℃) | 상대<br>습도<br>(%) | 평균<br>풍속<br>(m/s) | Pan<br>증발량<br>(mm) | 강우량<br>(mm) | 일조<br>시간<br>(hrs) | 일사량<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| 1   | 18.7            | 27.2            | 13.3            | 73              | 3.4               | 6.6                | 10.9        | 7.0               | 12.41                       |
| 2   | 16.4            | 21.4            | 11.5            | 67              | 2.2               | 5.6                | 0.0         | 10.7              | 23.00                       |
| 3   | 17.7            | 22.5            | 11.9            | 61              | 1.6               | 5.0                | 0.0         | 10.6              | 21.05                       |
| 4   | 20.5            | 25.7            | 15.4            | 58              | 1.4               | 5.2                | 1.0         | 8.7               | 19.57                       |
| 5   | 17.9            | 20.8            | 15.9            | 79              | 1.5               | 2.1                | 6.8         | 0.9               | 5.06                        |
| 평균  | 18.2            | 23.5            | 13.6            | 68              | 2.0               | 4.9                | 3.7         | 7.6               | 16.22                       |
| 6   | 20.3            | 27.3            | 13.4            | 69              | 1.3               | 5.5                | 0.0         | 9.8               | 22.88                       |
| 7   | 22.8            | 28.2            | 16.3            | 68              | 1.2               | 6.2                | 0.0         | 10.6              | 21.48                       |
| 8   | 22.8            | 24.7            | 19.6            | 71              | 1.9               | 3.6                | 0.0         | 0.5               | 8.24                        |
| 9   | 21.5            | 25.5            | 18.1            | 68              | 2.6               | 5.9                | 0.0         | 8.0               | 18.45                       |
| 10  | 22.1            | 28.4            | 15.9            | 55              | 2.1               | 7.9                | 0.0         | 12.5              | 22.02                       |
| 평균  | 21.9            | 26.8            | 16.7            | 66              | 1.8               | 5.8                | 0.0         | 8.3               | 18.61                       |
| 11  | 21.6            | 28.6            | 16.5            | 69              | 2.1               | 7.5                | 0.0         | 10.1              | 19.21                       |
| 12  | 21.7            | 26.6            | 18.0            | 69              | 1.9               | 6.6                | 0.0         | 9.8               | 20.68                       |
| 13  | 23.2            | 29.9            | 17.0            | 61              | 1.3               | 6.2                | 0.0         | 9.3               | 19.46                       |
| 14  | 24.0            | 30.8            | 17.7            | 55              | 1.4               | 7.1                | 0.0         | 10.7              | 19.95                       |
| 15  | 25.8            | 32.2            | 18.2            | 56              | 1.6               | 7.0                | 0.0         | 10.5              | 19.78                       |
| 평균  | 23.3            | 29.6            | 17.5            | 62              | 1.7               | 6.9                | 0.0         | 10.1              | 19.82                       |
| 16  | 25.4            | 30.5            | 20.2            | 64              | 1.6               | 7.0                | 0.0         | 9.9               | 20.25                       |
| 17  | 25.0            | 31.6            | 19.1            | 57              | 1.6               | 8.1                | 0.0         | 10.5              | 17.84                       |
| 18  | 26.0            | 33.5            | 19.3            | 61              | 1.2               | 6.2                | 0.0         | 8.4               | 15.65                       |
| 19  | 25.9            | 29.7            | 22.1            | 64              | 1.6               | 8.6                | 0.0         | 3.2               | 11.54                       |
| 20  | 23.2            | 26.1            | 19.8            | 78              | 1.6               | 4.0                | 19.3        | 3.4               | 9.84                        |
| 평균  | 25.1            | 30.3            | 20.1            | 65              | 1.5               | 6.8                | 3.9         | 7.1               | 15.02                       |
| 21  | 24.0            | 28.6            | 20.0            | 76              | 1.4               | 4.9                | 0.0         | 5.4               | 17.79                       |
| 22  | 23.5            | 26.4            | 21.0            | 77              | 0.9               | 1.8                | 0.1         | 3.5               | 7.22                        |
| 23  | 24.6            | 30.1            | 19.0            | 66              | 1.2               | 6.8                | 0.0         | 9.8               | 19.24                       |
| 24  | 25.1            | 21.1            | 20.0            | 62              | 1.6               | 3.3                | 0.0         | 8.3               | 18.80                       |
| 25  | 22.0            | 24.3            | 20.8            | 84              | 1.6               | 0.4                | 92.9        | 0.0               | 1.96                        |
| 평균  | 23.8            | 26.1            | 20.2            | 73              | 1.3               | 3.4                | 18.6        | 5.4               | 13.00                       |
| 26  | 23.5            | 26.5            | 21.5            | 81              | 1.0               | 2.1                | 11.3        | 0.7               | 5.92                        |
| 27  | 22.7            | 25.0            | 21.0            | 90              | 0.9               | 1.7                | 5.5         | 0.0               | 4.78                        |
| 28  | 25.8            | 31.2            | 20.8            | 63              | 0.7               | 6.8                | 0.0         | 11.6              | 19.36                       |
| 29  | 25.8            | 31.5            | 18.8            | 73              | 0.5               | 6.6                | 0.0         | 11.6              | 18.53                       |
| 30  | 25.3            | 31.4            | 21.6            | 73              | 1.2               | 1.4                | 2.6         | 6.1               | 15.26                       |
| 평균  | 24.6            | 29.1            | 20.7            | 76              | 0.9               | 3.7                | 3.9         | 6.0               | 12.77                       |
| 월평균 | 22.8            | 27.6            | 18.1            | 68              | 1.5               | 5.3                | 5.0         | 7.4               | 15.91                       |

II-3 수원 측후소의 주요 기상자료(7월)

| 날짜  | 평균<br>기온<br>(℃) | 최고<br>기온<br>(℃) | 최저<br>기온<br>(℃) | 상대<br>습도<br>(%) | 평균<br>풍속<br>(m/s) | Pan<br>증발량<br>(mm) | 강우량<br>(mm) | 일조<br>시간<br>(hrs) | 일사량<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| 1   | 22.3            | 23.5            | 20.8            | 95              | 2.4               | 0.3                | 150.4       | 0.0               | 1.76                        |
| 2   | 24.9            | 28.9            | 21.9            | 86              | 1.1               | 4.2                | 1.1         | 1.9               | 10.02                       |
| 3   | 25.6            | 29.0            | 24.3            | 85              | 3.6               | 2.5                | 1.9         | 1.5               | 6.88                        |
| 4   | 24.2            | 25.5            | 23.0            | 89              | 4.1               | 0.4                | 18.1        | 0.0               | 0.91                        |
| 5   | 21.0            | 23.4            | 19.3            | 89              | 1.1               | 1.2                | 32.8        | 0.0               | 5.33                        |
| 평균  | 23.6            | 26.1            | 21.9            | 89              | 2.5               | 1.7                | 40.9        | 0.7               | 4.98                        |
| 6   | 19.8            | 22.4            | 18.3            | 89              | 0.9               | 2.5                | 11.6        | 0.0               | 4.00                        |
| 7   | 22.1            | 27.2            | 17.1            | 80              | 1.2               | 4.8                | 0.0         | 6.2               | 17.97                       |
| 8   | 23.5            | 28.4            | 19.7            | 74              | 1.6               | 5.3                | 0.0         | 8.5               | 15.88                       |
| 9   | 23.9            | 27.8            | 20.4            | 81              | 1.5               | 5.7                | 0.0         | 6.4               | 15.42                       |
| 10  | 26.1            | 31.5            | 19.8            | 72              | 1.2               | 6.4                | 0.0         | 8.2               | 18.95                       |
| 평균  | 23.1            | 27.5            | 19.1            | 79              | 1.3               | 4.9                | 2.3         | 5.9               | 14.44                       |
| 11  | 25.4            | 30.1            | 21.9            | 68              | 2.8               | 6.5                | 0.0         | 6.1               | 15.83                       |
| 12  | 22.3            | 24.8            | 20.0            | 81              | 1.9               | 0.6                | 1.0         | 0.9               | 6.40                        |
| 13  | 25.1            | 29.5            | 20.9            | 74              | 1.4               | 6.6                | 0.0         | 11.8              | 21.33                       |
| 14  | 24.9            | 29.2            | 21.3            | 80              | 1.3               | 2.1                | 0.0         | 5.7               | 15.43                       |
| 15  | 23.7            | 25.3            | 21.7            | 93              | 1.9               | 1.9                | 56.4        | 0.0               | 3.04                        |
| 평균  | 24.3            | 27.8            | 21.2            | 79              | 1.9               | 3.5                | 11.5        | 4.9               | 12.41                       |
| 16  | 25.4            | 28.5            | 23.3            | 86              | 1.5               | 3.3                | 8.3         | 2.1               | 10.97                       |
| 17  | 26.0            | 29.8            | 22.5            | 76              | 1.3               | 4.2                | 0.1         | 3.7               | 11.92                       |
| 18  | 26.0            | 31.5            | 22.2            | 75              | 1.6               | 6.0                | 0.0         | 8.7               | 17.63                       |
| 19  | 27.6            | 32.9            | 22.2            | 73              | 1.0               | 6.2                | 0.0         | 8.7               | 18.54                       |
| 20  | 28.0            | 32.6            | 24.0            | 78              | 1.9               | 6.8                | 0.0         | 6.8               | 15.67                       |
| 평균  | 26.6            | 31.1            | 22.8            | 78              | 1.5               | 5.3                | 1.7         | 6.0               | 14.95                       |
| 21  | 28.2            | 32.0            | 25.1            | 80              | 2.2               | 5.6                | 0.0         | 8.6               | 16.18                       |
| 22  | 28.1            | 33.3            | 24.0            | 76              | 1.4               | 7.7                | 0.0         | 11.7              | 19.87                       |
| 23  | 27.9            | 33.1            | 23.5            | 83              | 1.9               | 6.5                | 0.0         | 10.5              | 17.53                       |
| 24  | 29.2            | 33.4            | 25.0            | 81              | 1.6               | 7.3                | 0.0         | 6.7               | 14.20                       |
| 25  | 28.2            | 32.3            | 24.5            | 85              | 1.2               | 5.9                | 50.0        | 8.2               | 15.73                       |
| 평균  | 28.3            | 32.8            | 24.4            | 81              | 1.7               | 6.6                | 10.0        | 9.1               | 16.70                       |
| 26  | 29.2            | 33.9            | 24.3            | 72              | 1.3               | 6.6                | 0.0         | 9.3               | 17.36                       |
| 27  | 28.6            | 32.2            | 24.8            | 71              | 1.0               | 2.1                | 0.0         | 7.2               | 13.16                       |
| 28  | 28.7            | 33.0            | 25.2            | 79              | 1.5               | 5.6                | 0.0         | 8.0               | 16.35                       |
| 29  | 28.9            | 33.4            | 26.0            | 81              | 1.5               | 5.9                | 0.0         | 8.0               | 15.72                       |
| 30  | 28.9            | 33.7            | 25.4            | 81              | 1.4               | 6.2                | 0.0         | 6.8               | 14.93                       |
| 31  | 28.8            | 32.5            | 25.7            | 80              | 1.4               | 5.1                | 0.0         | 3.2               | 12.84                       |
| 평균  | 28.9            | 33.1            | 25.2            | 77              | 1.4               | 5.3                | 0.0         | 7.1               | 15.06                       |
| 월평균 | 25.9            | 29.8            | 22.5            | 80              | 1.7               | 4.6                | 10.7        | 5.7               | 13.15                       |

II-4 수원 측후소의 주요 기상자료(8월)

| 날짜 | 평균<br>기온<br>(°C) | 최고<br>기온<br>(°C) | 최저<br>기온<br>(°C) | 상대<br>습도<br>(%) | 평균<br>풍속<br>(m/s) | Pan<br>증발량<br>(mm) | 강우량<br>(mm) | 일조<br>시간<br>(hrs) | 일사량<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) |
|----|------------------|------------------|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| 1  | 28.5             | 33.5             | 25.7             | 81              | 1.5               | 6.1                | 2.2         | 7.0               | 15.23                       |
| 2  | 28.5             | 32.7             | 25.8             | 78              | 2.0               | 6.6                | 7.8         | 9.5               | 16.39                       |
| 3  | 25.5             | 29.7             | 22.0             | 93              | 2.3               | 2.4                | 16.1        | 2.6               | 7.58                        |
| 4  | 21.9             | 24.8             | 20.7             | 95              | 1.9               | 0.7                | 14.6        | 0.0               | 0.20                        |
| 5  | 24.6             | 31.1             | 19.4             | 82              | 1.3               | 6.4                | 6.5         | 8.4               | 18.72                       |
| 평균 | 25.8             | 30.4             | 22.7             | 86              | 1.8               | 4.4                | 9.4         | 5.5               | 11.62                       |
| 6  | 26.3             | 31.1             | 22.7             | 79              | 1.5               | 5.3                | 8.8         | 6.5               | 15.97                       |
| 7  | 26.6             | 32.8             | 21.6             | 83              | 1.0               | 4.4                | 8.7         | 5.1               | 13.60                       |
| 8  | 28.4             | 33.8             | 25.2             | 85              | 1.8               | 5.8                | 7.2         | 6.2               | 14.81                       |
| 9  | 28.0             | 32.1             | 24.5             | 77              | 2.3               | 6.0                | 10.2        | 10.4              | 20.38                       |
| 10 | 26.3             | 31.0             | 22.6             | 78              | 0.7               | 4.3                | 10.4        | 3.7               | 11.96                       |
| 평균 | 27.1             | 32.2             | 23.3             | 80              | 1.5               | 5.2                | 9.1         | 6.4               | 15.34                       |
| 11 | 27.2             | 30.9             | 24.2             | 74              | 1.9               | 5.6                | 0.0         | 7.0               | 13.39                       |
| 12 | 27.4             | 31.3             | 23.6             | 65              | 2.0               | 6.1                | 0.0         | 8.6               | 15.77                       |
| 13 | 27.1             | 31.4             | 21.8             | 66              | 1.8               | 6.5                | 0.0         | 10.5              | 17.51                       |
| 14 | 27.1             | 30.8             | 23.2             | 72              | 2.7               | 6.6                | 0.0         | 11.2              | 20.24                       |
| 15 | 27.1             | 31.3             | 21.5             | 63              | 2.8               | 7.0                | 0.0         | 11.5              | 20.01                       |
| 평균 | 27.2             | 31.1             | 22.9             | 68              | 2.2               | 6.4                | 0.0         | 9.8               | 17.38                       |
| 16 | 26.1             | 30.6             | 21.5             | 64              | 2.7               | 4.5                | 0.0         | 10.5              | 17.71                       |
| 17 | 27.1             | 32.3             | 22.5             | 62              | 2.3               | 4.8                | 0.0         | 11.9              | 21.80                       |
| 18 | 28.4             | 32.1             | 25.3             | 73              | 2.6               | 3.5                | 1.2         | 3.9               | 11.60                       |
| 19 | 27.5             | 29.7             | 25.2             | 85              | 2.6               | 3.2                | 0.9         | 0.0               | 6.37                        |
| 20 | 29.5             | 33.0             | 25.9             | 78              | 2.8               | 6.9                | 5.6         | 9.0               | 14.55                       |
| 평균 | 27.7             | 31.5             | 24.1             | 72              | 2.6               | 4.6                | 1.5         | 7.1               | 14.41                       |
| 21 | 25.1             | 30.3             | 21.9             | 85              | 3.7               | 3.5                | 5.0         | 2.0               | 6.23                        |
| 22 | 24.6             | 29.3             | 20.7             | 72              | 1.6               | 7.1                | 0.0         | 11.8              | 19.40                       |
| 23 | 25.1             | 29.8             | 20.3             | 76              | 1.5               | 5.4                | 0.0         | 8.7               | 16.08                       |
| 24 | 26.2             | 31.5             | 21.6             | 80              | 1.4               | 5.8                | 0.0         | 10.0              | 17.33                       |
| 25 | 26.1             | 30.9             | 22.7             | 78              | 1.7               | 6.7                | 0.0         | 6.6               | 13.59                       |
| 평균 | 25.4             | 30.4             | 21.4             | 78              | 2.0               | 5.7                | 1.0         | 7.8               | 14.53                       |
| 26 | 25.6             | 30.0             | 22.2             | 81              | 1.8               | 4.6                | 0.7         | 6.0               | 11.46                       |
| 27 | 26.2             | 30.7             | 22.3             | 78              | 1.3               | 5.5                | 0.0         | 8.8               | 16.54                       |
| 28 | 25.6             | 30.4             | 22.0             | 81              | 0.9               | 5.9                | 0.0         | 7.9               | 15.25                       |
| 29 | 25.8             | 30.6             | 22.8             | 86              | 1.5               | 4.2                | 1.4         | 4.2               | 9.68                        |
| 30 | 26.4             | 30.7             | 24.1             | 87              | 1.6               | 3.2                | 1.5         | 6.0               | 7.78                        |
| 31 | 27.5             | 31.6             | 24.9             | 87              | 1.8               | 3.9                | 1.1         | 6.3               | 12.77                       |
| 평균 | 26.2             | 30.7             | 23.1             | 83              | 1.5               | 4.6                | 0.8         | 6.5               | 12.25                       |

II-5 수원 측후소의 주요 기상자료(9월)

| 날짜  | 평균<br>기온<br>(℃) | 최고<br>기온<br>(℃) | 최저<br>기온<br>(℃) | 상대<br>습도<br>(%) | 평균<br>풍속<br>(m/s) | Pan<br>증발량<br>(mm) | 강우량<br>(mm) | 일조<br>시간<br>(hrs) | 일사량<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| 1   | 27.7            | 31.9            | 25.1            | 86              | 2.4               | 2.2                | 0.0         | 5.1               | 10.55                       |
| 2   | 23.6            | 26.6            | 20.1            | 92              | 2.5               | 2.9                | 6.6         | 0.9               | 2.67                        |
| 3   | 23.1            | 28.4            | 19.2            | 68              | 1.3               | 5.2                | 0.0         | 7.5               | 12.00                       |
| 4   | 23.7            | 29.0            | 19.0            | 72              | 1.6               | 5.9                | 0.0         | 7.6               | 13.33                       |
| 5   | 24.0            | 29.5            | 18.8            | 69              | 1.0               | 6.9                | 0.0         | 9.5               | 14.76                       |
| 평균  | 24.4            | 29.1            | 20.4            | 77              | 1.8               | 4.6                | 1.3         | 6.1               | 10.66                       |
| 6   | 25.7            | 31.5            | 20.8            | 63              | 1.0               | 6.7                | 0.0         | 9.2               | 13.58                       |
| 7   | 24.8            | 30.9            | 19.2            | 70              | 1.1               | 5.6                | 0.0         | 10.0              | 12.63                       |
| 8   | 24.2            | 30.6            | 18.7            | 74              | 1.2               | 5.5                | 0.0         | 10.1              | 13.49                       |
| 9   | 23.7            | 29.5            | 19.4            | 80              | 1.4               | 4.7                | 0.0         | 6.7               | 10.86                       |
| 10  | 24.1            | 28.9            | 21.4            | 85              | 1.6               | 2.4                | 0.0         | 5.6               | 7.52                        |
| 평균  | 24.5            | 30.3            | 19.9            | 74              | 1.3               | 5.0                | 0.0         | 8.3               | 11.62                       |
| 11  | 22.9            | 27.7            | 19.1            | 71              | 1.1               | 2.6                | 0.0         | 8.6               | 10.06                       |
| 12  | 21.2            | 24.6            | 17.9            | 71              | 1.7               | 2.5                | 0.0         | 1.7               | 4.75                        |
| 13  | 20.2            | 23.3            | 17.4            | 76              | 2.3               | 1.0                | 1.2         | 2.0               | 5.71                        |
| 14  | 19.3            | 23.8            | 16.5            | 61              | 1.9               | 2.5                | 0.0         | 5.6               | 8.46                        |
| 15  | 19.8            | 24.1            | 14.9            | 51              | 4.1               | 4.0                | 0.0         | 11.2              | 14.88                       |
| 평균  | 20.7            | 24.7            | 17.2            | 66              | 2.2               | 2.5                | 0.2         | 5.8               | 8.77                        |
| 16  | 19.3            | 23.3            | 14.8            | 66              | 2.8               | 0.9                | 0.7         | 2.6               | 6.17                        |
| 17  | 19.9            | 25.4            | 14.4            | 68              | 1.7               | 3.6                | 0.0         | 10.7              | 13.77                       |
| 18  | 17.5            | 24.3            | 12.1            | 56              | 1.5               | 3.6                | 0.1         | 7.9               | 11.99                       |
| 19  | 17.3            | 24.6            | 10.0            | 64              | 1.4               | 4.4                | 0.0         | 10.6              | 13.50                       |
| 20  | 17.0            | 23.7            | 12.4            | 70              | 2.2               | 2.3                | 2.5         | 6.3               | 9.52                        |
| 평균  | 18.2            | 24.3            | 12.7            | 65              | 1.9               | 3.0                | 0.7         | 7.6               | 10.99                       |
| 21  | 15.2            | 21.8            | 8.7             | 57              | 1.3               | 5.0                | 0.0         | 10.3              | 12.95                       |
| 22  | 17.4            | 24.0            | 9.4             | 57              | 1.2               | 6.4                | 0.0         | 10.3              | 12.81                       |
| 23  | 18.4            | 24.4            | 11.9            | 57              | 1.2               | 4.3                | 0.0         | 9.7               | 11.93                       |
| 24  | 17.9            | 22.9            | 11.7            | 58              | 1.5               | 2.8                | 0.0         | 8.4               | 9.29                        |
| 25  | 15.7            | 17.7            | 14.5            | 78              | 2.3               | 1.8                | 6.6         | 0.0               | 2.38                        |
| 평균  | 16.9            | 22.2            | 11.2            | 61              | 1.5               | 4.1                | 1.3         | 7.7               | 9.87                        |
| 26  | 14.8            | 18.6            | 12.7            | 83              | 1.0               | 0.6                | 7.3         | 0.3               | 4.10                        |
| 27  | 16.2            | 21.6            | 11.6            | 66              | 1.6               | 2.2                | 0.0         | 9.3               | 12.41                       |
| 28  | 15.8            | 21.6            | 10.8            | 65              | 1.3               | 5.9                | 0.0         | 9.5               | 11.09                       |
| 29  | 16.6            | 23.9            | 9.9             | 61              | 0.8               | 3.8                | 0.0         | 9.4               | 12.16                       |
| 30  | 17.7            | 25.9            | 10.2            | 60              | 0.9               | 4.0                | 0.0         | 8.9               | 11.06                       |
| 평균  | 16.2            | 22.3            | 11.0            | 67              | 1.1               | 3.3                | 1.5         | 7.5               | 10.16                       |
| 월평균 | 20.2            | 25.5            | 15.4            | 69              | 1.6               | 3.7                | 0.8         | 7.2               | 10.35                       |

II-6 대구 측후소의 주요 기상자료(5월)

| 날짜  | 평균<br>기온<br>(℃) | 최고<br>기온<br>(℃) | 최저<br>기온<br>(℃) | 상대<br>습도<br>(%) | 평균<br>풍속<br>(m/s) | Pan<br>증발량<br>(mm) | 강우량<br>(mm) | 일조<br>시간<br>(hrs) | 일사량<br>(MJ·m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| 1   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 2   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 3   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 4   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 5   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 평균  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 6   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 7   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 8   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 9   |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 10  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 평균  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 11  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 12  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 13  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 14  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 15  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 평균  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 16  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 17  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 18  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 19  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 20  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 평균  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 21  | 15.7            | 23.2            | 11.0            | 69              | 1.8               | 0.0                | 0.3         | 7.2               | 17.96                       |
| 22  | 18.9            | 26.6            | 10.7            | 58              | 1.4               | 0.0                | 0.0         | 8.1               | 22.26                       |
| 23  | 20.0            | 26.7            | 13.3            | 49              | 1.9               | 0.0                | 0.0         | 8.7               | 21.22                       |
| 24  | 15.4            | 19.0            | 11.6            | 63              | 2.8               | 0.0                | 6.0         | 4.8               | 11.55                       |
| 25  | 18.4            | 25.8            | 11.0            | 54              | 2.5               | 0.0                | 0.0         | 10.4              | 22.07                       |
| 평균  | 17.7            | 24.3            | 11.5            | 59              | 2.1               | 0.0                | 1.3         | 7.8               | 19.01                       |
| 26  | 16.5            | 23.9            | 11.1            | 68              | 3.4               | 0.0                | 2.0         | 8.4               | 23.54                       |
| 27  | 16.1            | 20.1            | 14.1            | 67              | 3.9               | 0.0                | 0.0         | 4.1               | 16.06                       |
| 28  | 17.3            | 22.9            | 13.9            | 65              | 3.2               | 0.0                | 0.0         | 4.0               | 17.73                       |
| 29  | 19.1            | 24.8            | 15.1            | 71              | 0.9               | 0.0                | 0.0         | 0.4               | 9.87                        |
| 30  | 19.1            | 25.5            | 14.1            | 70              | 1.7               | 0.0                | 9.1         | 4.4               | 11.78                       |
| 31  | 21.5            | 29.5            | 12.8            | 59              | 1.6               | 0.0                | 0.0         | 11.6              | 25.74                       |
| 평균  | 18.3            | 24.5            | 13.5            | 67              | 2.5               | 0.0                | 1.9         | 5.5               | 17.45                       |
| 월평균 | 18.1            | 24.7            | 12.4            | 62              | 2.1               | 0.0                | 1.7         | 6.9               | 18.43                       |

II-7 대구 측후소의 주요 기상자료(6월)

| 날짜  | 평균<br>기온<br>(℃) | 최고<br>기온<br>(℃) | 최저<br>기온<br>(℃) | 상대<br>습도<br>(%) | 평균<br>풍속<br>(m/s) | Pan<br>증발량<br>(mm) | 강우량<br>(mm) | 일조<br>시간<br>(hrs) | 일사량<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| 1   | 21.2            | 28.2            | 16.6            | 68              | 2.0               | 0.0                | 3.6         | 6.5               | 14.58                       |
| 2   | 21.5            | 27.6            | 16.3            | 53              | 2.0               | 0.0                | 0.4         | 9.8               | 25.14                       |
| 3   | 21.9            | 28.5            | 14.2            | 51              | 1.0               | 0.0                | 0.0         | 11.3              | 23.00                       |
| 4   | 22.1            | 28.2            | 16.1            | 56              | 1.7               | 0.0                | 0.0         | 8.8               | 21.05                       |
| 5   | 17.9            | 22.3            | 16.3            | 81              | 0.9               | 0.0                | 17.8        | 3.8               | 5.53                        |
| 평균  | 20.9            | 27.0            | 15.9            | 62              | 1.5               | 0.0                | 4.4         | 8.0               | 17.86                       |
| 6   | 19.7            | 24.7            | 16.4            | 68              | 2.5               | 0.0                | 0.4         | 5.5               | 19.08                       |
| 7   | 21.9            | 30.6            | 13.0            | 61              | 1.1               | 0.0                | 0.0         | 8.4               | 22.36                       |
| 8   | 18.9            | 21.4            | 17.3            | 83              | 2.0               | 0.0                | 9.4         | 0.0               | 4.35                        |
| 9   | 22.5            | 29.0            | 17.3            | 66              | 1.8               | 0.0                | 0.0         | 5.7               | 15.79                       |
| 10  | 24.2            | 30.8            | 18.7            | 47              | 1.5               | 0.0                | 0.0         | 6.1               | 21.69                       |
| 평균  | 21.4            | 27.3            | 16.5            | 65              | 1.8               | 0.0                | 2.0         | 5.1               | 16.65                       |
| 11  | 23.2            | 31.6            | 15.4            | 51              | 1.5               | 0.0                | 0.0         | 9.3               | 20.94                       |
| 12  | 23.6            | 31.7            | 18.1            | 53              | 1.5               | 0.0                | 1.3         | 8.9               | 22.51                       |
| 13  | 24.4            | 32.0            | 16.6            | 57              | 0.8               | 0.0                | 0.0         | 7.5               | 19.48                       |
| 14  | 24.9            | 32.9            | 18.0            | 60              | 1.2               | 0.0                | 0.0         | 7.3               | 18.15                       |
| 15  | 24.2            | 30.7            | 20.3            | 52              | 3.2               | 0.0                | 0.0         | 9.6               | 22.37                       |
| 평균  | 24.1            | 31.8            | 17.7            | 55              | 1.6               | 0.0                | 0.0         | 8.5               | 20.69                       |
| 16  | 25.3            | 33.2            | 15.2            | 47              | 1.0               | 0.0                | 0.0         | 11.9              | 25.13                       |
| 17  | 27.1            | 36.4            | 19.6            | 54              | 1.0               | 0.0                | 0.0         | 7.7               | 18.14                       |
| 18  | 27.7            | 35.5            | 20.5            | 53              | 1.7               | 0.0                | 0.0         | 9.6               | 20.57                       |
| 19  | 25.7            | 32.3            | 19.8            | 59              | 2.8               | 0.0                | 0.0         | 8.0               | 18.75                       |
| 20  | 24.1            | 30.2            | 19.5            | 68              | 2.1               | 0.0                | 25.5        | 5.2               | 17.99                       |
| 평균  | 26.0            | 33.5            | 18.9            | 56              | 1.7               | 0.0                | 5.1         | 8.5               | 20.12                       |
| 21  | 26.3            | 32.2            | 21.0            | 63              | 1.9               | 0.0                | 0.0         | 10.4              | 22.24                       |
| 22  | 26.9            | 32.6            | 21.1            | 58              | 1.1               | 0.0                | 0.0         | 3.5               | 18.23                       |
| 23  | 28.0            | 34.2            | 21.6            | 59              | 0.9               | 0.0                | 0.0         | 10.4              | 20.12                       |
| 24  | 27.7            | 34.0            | 22.6            | 62              | 1.5               | 0.0                | 0.0         | 7.8               | 18.45                       |
| 25  | 23.0            | 25.0            | 21.1            | 87              | 1.0               | 0.0                | 53.7        | 0.0               | 3.43                        |
| 평균  | 26.4            | 31.6            | 21.5            | 66              | 1.3               | 0.0                | 10.7        | 6.4               | 16.49                       |
| 26  | 24.1            | 26.0            | 22.8            | 87              | 0.7               | 0.0                | 78.5        | 0.0               | 5.59                        |
| 27  | 25.5            | 30.3            | 22.7            | 79              | 1.3               | 0.0                | 4.8         | 1.1               | 10.57                       |
| 28  | 25.2            | 30.1            | 21.4            | 62              | 2.1               | 0.0                | 0.0         | 3.7               | 13.77                       |
| 29  | 26.4            | 34.3            | 17.3            | 59              | 1.1               | 0.0                | 0.0         | 12.0              | 24.97                       |
| 30  | 25.9            | 29.9            | 22.0            | 60              | 1.4               | 0.0                | 0.0         | 5.3               | 14.18                       |
| 평균  | 25.4            | 30.1            | 21.2            | 69              | 1.3               | 0.0                | 16.7        | 4.4               | 13.82                       |
| 월평균 | 24.0            | 30.2            | 18.6            | 62              | 1.5               | 0.0                | 6.5         | 6.8               | 17.61                       |

II-8 대구 측후소의 주요 기상자료(7월)

| 날짜  | 평균<br>기온<br>(℃) | 최고<br>기온<br>(℃) | 최저<br>기온<br>(℃) | 상대<br>습도<br>(%) | 평균<br>풍속<br>(m/s) | Pan<br>증발량<br>(mm) | 강수량<br>(mm) | 일조<br>시간<br>(hrs) | 일사량<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| 1   | 23.4            | 25.3            | 21.1            | 89              | 1.5               | 0.0                | 73.9        | 0.0               | 2.25                        |
| 2   | 27.2            | 30.3            | 24.0            | 74              | 0.9               | 0.0                | 0.0         | 2.1               | 8.50                        |
| 3   | 28.9            | 32.9            | 25.6            | 64              | 3.6               | 0.0                | 0.0         | 5.2               | 16.35                       |
| 4   | 28.9            | 32.8            | 25.7            | 61              | 5.0               | 0.0                | 0.0         | 7.9               | 20.00                       |
| 5   | 25.0            | 27.7            | 21.5            | 80              | 2.4               | 0.0                | 27.2        | 0.0               | 2.84                        |
| 평균  | 26.7            | 29.8            | 23.6            | 74              | 2.7               | 0.0                | 20.2        | 3.0               | 9.99                        |
| 6   | 20.6            | 22.3            | 19.0            | 92              | 1.3               | 0.0                | 66.5        | 0.0               | 2.63                        |
| 7   | 23.8            | 30.5            | 17.4            | 68              | 0.7               | 0.0                | 0.0         | 9.9               | 20.11                       |
| 8   | 22.4            | 24.6            | 20.2            | 75              | 0.3               | 0.0                | 0.0         | 0.0               | 4.17                        |
| 9   | 23.7            | 28.5            | 19.1            | 70              | 0.8               | 0.0                | 0.0         | 2.5               | 14.33                       |
| 10  | 23.5            | 28.5            | 20.2            | 71              | 2.2               | 0.0                | 0.0         | 5.2               | 16.82                       |
| 평균  | 22.8            | 26.9            | 19.2            | 75              | 1.1               | 0.0                | 13.3        | 3.5               | 11.61                       |
| 11  | 20.5            | 21.8            | 19.8            | 86              | 2.5               | 0.0                | 26.2        | 0.0               | 3.73                        |
| 12  | 21.0            | 22.2            | 19.5            | 86              | 2.9               | 0.0                | 3.5         | 0.0               | 3.43                        |
| 13  | 23.9            | 28.8            | 20.1            | 78              | 1.2               | 0.0                | 0.7         | 1.6               | 4.57                        |
| 14  | 27.2            | 33.0            | 22.3            | 69              | 1.9               | 0.0                | 0.0         | 8.7               | 21.63                       |
| 15  | 26.8            | 31.5            | 23.4            | 73              | 1.6               | 0.0                | 20.5        | 2.9               | 11.74                       |
| 평균  | 23.9            | 27.5            | 21.0            | 78              | 2.0               | 0.0                | 10.2        | 2.6               | 9.02                        |
| 16  | 25.1            | 29.8            | 22.3            | 84              | 1.4               | 0.0                | 86.4        | 1.0               | 8.99                        |
| 17  | 23.8            | 27.6            | 21.2            | 72              | 3.1               | 0.0                | 5.0         | 4.0               | 12.88                       |
| 18  | 25.6            | 32.1            | 18.1            | 64              | 1.2               | 0.0                | 0.0         | 9.2               | 24.62                       |
| 19  | 27.1            | 34.0            | 20.0            | 58              | 1.2               | 0.0                | 0.0         | 10.9              | 23.20                       |
| 20  | 28.0            | 33.9            | 21.1            | 65              | 1.0               | 0.0                | 0.0         | 9.7               | 18.88                       |
| 평균  | 25.9            | 31.5            | 20.5            | 69              | 1.6               | 0.0                | 18.3        | 7.0               | 17.71                       |
| 21  | 29.8            | 35.5            | 24.6            | 65              | 1.4               | 0.0                | 0.0         | 9.2               | 20.30                       |
| 22  | 31.0            | 36.6            | 26.2            | 62              | 1.9               | 0.0                | 0.0         | 10.7              | 23.94                       |
| 23  | 29.0            | 35.0            | 26.5            | 73              | 1.7               | 0.0                | 5.4         | 5.0               | 11.73                       |
| 24  | 28.8            | 34.6            | 24.5            | 66              | 2.4               | 0.0                | 0.0         | 9.8               | 22.49                       |
| 25  | 28.4            | 34.8            | 22.0            | 60              | 2.3               | 0.0                | 0.0         | 11.0              | 23.68                       |
| 평균  | 29.4            | 35.3            | 24.8            | 65              | 1.9               | 0.0                | 1.1         | 9.1               | 20.43                       |
| 26  | 26.9            | 31.7            | 22.2            | 62              | 1.0               | 0.0                | 0.0         | 4.9               | 11.54                       |
| 27  | 28.2            | 32.3            | 25.0            | 58              | 1.7               | 0.0                | 0.0         | 5.2               | 14.64                       |
| 28  | 28.2            | 34.2            | 23.5            | 65              | 1.3               | 0.0                | 0.2         | 4.6               | 15.30                       |
| 29  | 27.7            | 33.6            | 23.3            | 68              | 2.4               | 0.0                | 2.2         | 7.3               | 17.60                       |
| 30  | 27.5            | 33.3            | 23.9            | 66              | 2.8               | 0.0                | 0.2         | 6.3               | 16.65                       |
| 31  | 27.5            | 31.8            | 23.7            | 68              | 2.9               | 0.0                | 0.0         | 6.3               | 18.69                       |
| 평균  | 27.7            | 32.8            | 23.6            | 65              | 2.0               | 0.0                | 0.4         | 5.8               | 15.74                       |
| 월평균 | 26.1            | 30.7            | 22.2            | 71              | 1.9               | 0.0                | 10.3        | 5.2               | 14.14                       |

II-9 대구 측후소의 주요 기상자료(8월)

| 날짜  | 평균<br>기온<br>(℃) | 최고<br>기온<br>(℃) | 최저<br>기온<br>(℃) | 상대<br>습도<br>(%) | 평균<br>풍속<br>(m/s) | Pan<br>증발량<br>(mm) | 강우량<br>(mm) | 일조<br>시간<br>(hrs) | 일사량<br>(MJ/m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| 1   | 29.0            | 35.5            | 24.2            | 66              | 1.5               | 0.0                | 0.0         | 5.2               | 14.84                       |
| 2   | 30.1            | 36.1            | 24.3            | 60              | 1.8               | 0.0                | 0.0         | 9.2               | 19.59                       |
| 3   | 28.2            | 34.6            | 24.9            | 75              | 1.6               | 0.0                | 2.9         | 4.9               | 14.08                       |
| 4   | 23.9            | 25.4            | 21.6            | 88              | 1.1               | 0.0                | 63.2        | 0.0               | 3.71                        |
| 5   | 26.5            | 32.4            | 21.6            | 66              | 1.3               | 0.0                | 3.2         | 8.2               | 22.11                       |
| 평균  | 27.5            | 32.8            | 23.3            | 71              | 1.5               | 0.0                | 13.9        | 5.5               | 14.87                       |
| 6   | 28.2            | 35.6            | 21.4            | 63              | 1.5               | 0.0                | 0.0         | 10.0              | 22.49                       |
| 7   | 26.4            | 30.1            | 23.7            | 78              | 0.9               | 0.0                | 0.0         | 0.2               | 6.65                        |
| 8   | 29.3            | 33.4            | 26.1            | 69              | 1.9               | 0.0                | 1.5         | 2.7               | 10.91                       |
| 9   | 28.5            | 33.5            | 25.0            | 74              | 2.5               | 0.0                | 9.7         | 2.6               | 11.39                       |
| 10  | 24.1            | 28.2            | 22.4            | 87              | 1.1               | 0.0                | 101.4       | 0.0               | 2.40                        |
| 평균  | 27.3            | 32.2            | 23.7            | 74              | 1.6               | 0.0                | 22.5        | 3.1               | 10.77                       |
| 11  | 23.2            | 25.7            | 22.4            | 85              | 1.5               | 0.0                | 3.9         | 0.0               | 5.25                        |
| 12  | 23.5            | 26.5            | 22.1            | 77              | 2.5               | 0.0                | 8.8         | 0.0               | 8.66                        |
| 13  | 23.8            | 27.4            | 21.9            | 73              | 3.0               | 0.0                | 0.0         | 1.8               | 13.81                       |
| 14  | 22.6            | 23.6            | 21.4            | 77              | 2.3               | 0.0                | 0.4         | 0.0               | 5.30                        |
| 15  | 23.1            | 26.9            | 20.4            | 70              | 2.4               | 0.0                | 0.0         | 3.5               | 14.12                       |
| 평균  | 23.2            | 26.0            | 21.6            | 76              | 2.3               | 0.0                | 2.6         | 1.1               | 9.43                        |
| 16  | 23.2            | 27.0            | 21.5            | 66              | 3.4               | 0.0                | 0.0         | 3.8               | 13.00                       |
| 17  | 24.7            | 28.5            | 21.0            | 68              | 3.1               | 0.0                | 0.0         | 6.9               | 17.82                       |
| 18  | 25.8            | 30.2            | 22.6            | 71              | 2.8               | 0.0                | 11.8        | 1.9               | 13.10                       |
| 19  | 25.8            | 29.4            | 23.4            | 80              | 2.2               | 0.0                | 14.6        | 0.0               | 9.06                        |
| 20  | 27.6            | 31.4            | 24.2            | 74              | 2.2               | 0.0                | 0.2         | 2.5               | 11.97                       |
| 평균  | 25.4            | 29.3            | 22.5            | 72              | 2.7               | 0.0                | 5.3         | 3.0               | 12.99                       |
| 21  | 29.0            | 33.8            | 25.2            | 67              | 2.7               | 0.0                | 0.0         | 5.9               | 14.36                       |
| 22  | 26.2            | 31.3            | 21.7            | 59              | 2.6               | 0.0                | 1.3         | 11.0              | 22.35                       |
| 23  | 27.3            | 33.4            | 21.1            | 58              | 2.4               | 0.0                | 0.0         | 11.0              | 22.11                       |
| 24  | 27.4            | 34.2            | 22.9            | 59              | 2.7               | 0.0                | 0.0         | 9.9               | 20.15                       |
| 25  | 24.5            | 27.8            | 22.5            | 68              | 3.5               | 0.0                | 0.0         | 2.8               | 12.85                       |
| 평균  | 26.9            | 32.1            | 22.7            | 62              | 2.8               | 0.0                | 0.3         | 8.1               | 18.36                       |
| 26  | 25.5            | 30.8            | 20.1            | 65              | 1.7               | 0.0                | 0.0         | 8.6               | 17.60                       |
| 27  | 26.9            | 32.4            | 21.8            | 67              | 1.0               | 0.0                | 0.0         | 8.3               | 17.33                       |
| 28  | 28.1            | 34.3            | 22.7            | 61              | 1.7               | 0.0                | 0.0         | 9.6               | 18.19                       |
| 29  | 25.9            | 30.7            | 22.3            | 70              | 1.1               | 0.0                | 0.0         | 0.7               | 9.37                        |
| 30  | 28.4            | 34.4            | 22.6            | 66              | 1.3               | 0.0                | 0.0         | 7.4               | 16.20                       |
| 31  | 28.8            | 34.4            | 24.5            | 66              | 1.9               | 0.0                | 0.0         | 6.9               | 14.39                       |
| 평균  | 27.3            | 32.8            | 22.3            | 66              | 1.5               | 0.0                | 0.0         | 6.9               | 15.51                       |
| 월평균 | 26.3            | 30.9            | 22.7            | 70              | 2.0               | 0.0                | 7.2         | 4.7               | 13.71                       |

II-10 대구 측후소의 주요 기상자료(9월)

| 날짜  | 평균<br>기온<br>(℃) | 최고<br>기온<br>(℃) | 최저<br>기온<br>(℃) | 상대<br>습도<br>(%) | 평균<br>풍속<br>(m/s) | Pan<br>증발량<br>(mm) | 강우량<br>(mm) | 일조<br>시간<br>(hrs) | 일사량<br>(MJ·m <sup>2</sup> ) |
|-----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-------------|-------------------|-----------------------------|
| 1   | 30.5            | 36.5            | 24.7            | 60              | 2.1               | 0.0                | 0.0         | 9.7               | 19.34                       |
| 2   | 28.2            | 33.5            | 24.1            | 73              | 1.5               | 0.0                | 5.7         | 1.9               | 8.93                        |
| 3   | 22.6            | 27.4            | 20.5            | 67              | 3.0               | 0.0                | 0.8         | 4.9               | 15.72                       |
| 4   | 22.4            | 27.9            | 17.8            | 61              | 2.4               | 0.0                | 0.0         | 5.7               | 16.27                       |
| 5   | 23.0            | 28.7            | 18.3            | 68              | 1.7               | 0.0                | 0.0         | 2.9               | 11.89                       |
| 평균  | 25.3            | 30.8            | 21.1            | 66              | 2.1               | 0.0                | 1.3         | 5.0               | 14.43                       |
| 6   | 23.3            | 28.9            | 18.0            | 61              | 2.3               | 0.0                | 0.0         | 5.4               | 15.38                       |
| 7   | 24.2            | 31.2            | 17.8            | 54              | 1.8               | 0.0                | 0.0         | 9.9               | 20.35                       |
| 8   | 24.7            | 32.8            | 17.2            | 60              | 1.0               | 0.0                | 0.0         | 9.6               | 18.09                       |
| 9   | 26.4            | 34.2            | 19.4            | 58              | 1.8               | 0.0                | 0.0         | 10.7              | 18.45                       |
| 10  | 26.1            | 32.0            | 21.6            | 64              | 1.9               | 0.0                | 0.0         | 7.6               | 14.67                       |
| 평균  | 24.9            | 31.8            | 18.8            | 59              | 1.8               | 0.0                | 0.0         | 8.6               | 17.39                       |
| 11  | 24.2            | 29.2            | 21.6            | 69              | 2.8               | 0.0                | 0.0         | 2.0               | 14.88                       |
| 12  | 23.5            | 28.6            | 20.6            | 67              | 3.8               | 0.0                | 0.0         | 7.1               | 15.09                       |
| 13  | 21.5            | 26.6            | 18.8            | 70              | 2.6               | 0.0                | 0.0         | 3.3               | 8.81                        |
| 14  | 20.6            | 22.6            | 18.0            | 64              | 1.9               | 0.0                | 0.0         | 0.0               | 4.75                        |
| 15  | 20.0            | 23.4            | 16.2            | 57              | 4.8               | 0.0                | 2.0         | 5.1               | 12.58                       |
| 평균  | 22.0            | 26.1            | 19.0            | 65              | 3.2               | 0.0                | 0.4         | 3.5               | 11.22                       |
| 16  | 18.8            | 21.2            | 15.7            | 79              | 1.2               | 0.0                | 4.3         | 0.0               | 4.62                        |
| 17  | 22.2            | 28.6            | 16.8            | 61              | 1.6               | 0.0                | 0.0         | 8.6               | 19.05                       |
| 18  | 21.2            | 27.5            | 16.6            | 57              | 1.6               | 0.0                | 0.0         | 8.3               | 15.56                       |
| 19  | 19.3            | 25.9            | 13.2            | 52              | 2.5               | 0.0                | 0.0         | 9.1               | 19.51                       |
| 20  | 19.2            | 26.0            | 13.6            | 60              | 1.1               | 0.0                | 0.0         | 3.2               | 12.05                       |
| 평균  | 20.1            | 25.8            | 15.2            | 62              | 1.6               | 0.0                | 0.9         | 5.8               | 14.16                       |
| 21  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 22  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 23  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 24  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 25  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 평균  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 26  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 27  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 28  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 29  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 30  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 평균  |                 |                 |                 |                 |                   |                    |             |                   |                             |
| 월평균 | 23.1            | 28.6            | 18.5            | 63              | 2.2               | 0.0                | 0.6         | 5.8               | 14.30                       |

### Ⅲ. 일별 증발산량 측정자료

여 백

### Ⅲ-1. 일별 증발산량 측정자료(수원)

(단위:mm/日)

| 월<br>일 | 5월   |      |      | 6월   |      |      | 7월   |      |       | 8월    |       |       | 9월   |       |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
|        | 조    | 중    | 만    | 조    | 중    | 만    | 조    | 중    | 만     | 조     | 중     | 만     | 조    | 중     | 만    |
| 1      | -    | -    | -    | 3.61 | 2.70 | 3.15 | 0.25 | 1.83 | 0.23  | 12.52 | 12.03 | 12.29 | -    | -     | -    |
| 2      | -    | -    | -    | 3.24 | 3.26 | 3.40 | 2.41 | 1.58 | 2.81  | 2.80  | 2.18  | 4.78  | 0.20 | 1.83  | 1.86 |
| 3      | -    | -    | -    | 4.18 | 3.97 | 3.79 | 2.04 | 1.46 | 2.19  | 1.43  | 2.96  | 2.04  | 10.4 | 12.05 | 9.82 |
| 4      | -    | -    | -    | 2.42 | 1.81 | 2.85 | 0.33 | 0.06 | 0.13  | 3.58  | 7.37  | 6.35  | 3.77 | 5.37  | 5.76 |
| 5      | -    | -    | -    | 4.83 | 3.64 | 4.46 | 0.57 | 0.63 | 0.33  | 4.72  | 4.15  | 6.77  | 7.44 | 6.63  | 7.07 |
| 6      | -    | -    | -    | 2.34 | 2.76 | 2.86 | 0.43 | 1.38 | 0.87  | 6.74  | 3.91  | 6.92  | 6.19 | 6.40  | 7.36 |
| 7      | -    | -    | -    | 3.56 | 3.40 | 3.24 | 5.58 | 2.02 | 4.76  | 5.47  | 4.21  | 4.92  | 5.15 | 6.64  | 6.18 |
| 8      | -    | -    | -    | 1.51 | 1.70 | 1.59 | 6.47 | 4.60 | 5.19  | 4.65  | 4.73  | 3.63  | 4.77 | 5.04  | 6.17 |
| 9      | -    | -    | -    | 2.70 | 2.44 | 2.86 | 8.48 | 7.50 | 6.78  | 7.09  | 5.62  | 5.48  | 7.18 | 9.08  | 8.56 |
| 10     | -    | -    | -    | 5.93 | 5.43 | 4.07 | 2.15 | 1.21 | 1.77  | 6.14  | 3.73  | 4.89  | 6.64 | 7.17  | 7.15 |
| 평균     | -    | -    | -    | 3.43 | 3.11 | 3.23 | 2.87 | 2.23 | 2.50  | 5.51  | 5.09  | 5.81  | 5.74 | 6.71  | 6.66 |
| 11     | -    | -    | -    | 5.11 | 5.33 | 6.59 | 7.93 | 6.22 | 6.80  | 10.86 | 9.70  | 8.65  | 7.46 | 8.96  | 9.05 |
| 12     | -    | -    | -    | 4.85 | 5.05 | 4.71 | 7.08 | 6.14 | 5.11  | 11.90 | 13.11 | 9.87  | 6.17 | 6.65  | 7.48 |
| 13     | 1.98 | -    | -    | 5.68 | 5.37 | 5.01 | 5.92 | 4.78 | 4.60  | 14.22 | 11.10 | 11.23 | 5.16 | 5.32  | 5.70 |
| 14     | 2.20 | 2.20 | 2.20 | 6.93 | 5.75 | 6.57 | 2.81 | 1.20 | 3.33  | 14.70 | 15.49 | 14.22 | 6.17 | 7.50  | 7.76 |
| 15     | -    | 2.60 | 1.83 | 7.18 | 4.81 | 6.19 | 3.61 | 2.42 | 1.60  | 6.41  | 10.51 | 9.51  | 8.44 | 8.16  | 6.41 |
| 16     | 2.63 | 2.81 | 2.92 | 4.76 | 4.05 | 4.79 | 5.04 | 4.72 | 4.04  | 14.58 | 11.14 | 11.39 | 5.03 | 6.22  | 5.70 |
| 17     | 1.89 | 2.28 | 2.23 | 4.82 | 5.55 | 5.80 | 7.58 | 6.05 | 4.61  | 4.49  | 8.90  | 6.81  | 8.94 | 5.97  | 5.52 |
| 18     | 2.11 | 1.68 | 2.00 | 3.99 | 3.31 | 4.46 | 7.23 | 6.67 | 4.36  | 3.16  | 3.28  | 2.41  | 3.09 | 4.01  | 7.32 |
| 19     | 2.81 | 2.57 | 3.18 | 2.09 | 2.82 | 1.60 | 7.96 | 5.69 | 5.65  | 13.10 | 11.28 | 9.58  | 8.58 | 7.58  | 6.46 |
| 20     | 1.60 | 1.65 | 1.89 | 3.03 | 5.82 | 2.94 | 6.87 | 3.67 | 5.42  | 2.73  | 2.85  | 3.38  | 7.06 | 8.30  | 7.09 |
| 평균     | 2.17 | 2.26 | 2.32 | 4.84 | 4.79 | 4.87 | 6.20 | 4.76 | 4.55  | 9.62  | 9.73  | 8.71  | 6.61 | 6.87  | 6.85 |
| 21     | 1.54 | 1.86 | 1.91 | 3.96 | 4.57 | 5.13 | 6.03 | 9.90 | 13.53 | 5.02  | 4.89  | 7.43  |      |       |      |
| 22     | 2.12 | 2.02 | 1.14 | 2.54 | 2.34 | 2.56 | 8.65 | 8.23 | 7.38  | 5.30  | 6.81  | 6.94  |      |       |      |
| 23     | -    | -    | 2.19 | 4.43 | 3.54 | 5.93 | 7.84 | 7.64 | 6.57  | 7.19  | 5.85  | 7.41  |      |       |      |
| 24     | 0.98 | 1.15 | 1.46 | 4.27 | 2.92 | 3.13 | 8.04 | 7.48 | 5.59  | 6.35  | 5.68  | 8.45  | -    | -     | 4.52 |
| 25     | 3.16 | 2.49 | 2.76 | 0.07 | 0.09 | 0.05 | 7.43 | 9.05 | 7.70  | 5.96  | 5.16  | 8.15  | -    | -     | 6.86 |
| 26     | 5.43 | 2.67 | 2.24 | 1.40 | 0.26 | 0.28 | 9.23 | 7.07 | 7.27  | -     | -     | -     | -    | -     | 6.87 |
| 27     | 2.20 | 7.21 | 2.68 | 2.03 | 0.37 | 0.72 | 4.17 | 2.67 | 3.29  | 4.12  | 1.64  | 5.32  | -    | -     | 2.96 |
| 28     | -    | -    | -    | -    | 6.84 | -    | -    | -    | -     | 11.69 | 9.65  | 7.76  | -    | -     | 2.00 |
| 29     | -    | -    | -    | 5.80 | 4.80 | 6.69 | -    | -    | -     | 1.67  | 2.75  | 4.43  |      |       |      |
| 30     | -    | -    | -    | 3.98 | 3.54 | 1.56 | -    | -    | -     | 2.30  | 5.27  | 3.58  |      |       |      |
| 31     | 2.73 | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -     | 7.54  | 12.88 | 13.27 |      |       |      |
| 평균     | 2.59 | 2.90 | 2.05 | 3.16 | 2.92 | 2.89 | 7.34 | 7.43 | 7.33  | 5.71  | 6.06  | 7.27  |      |       | 4.64 |

Ⅲ-2 일별 증발산량 측정자료(대구)

(단위 : mm/日)

| 일 \ 월 | 5월  |     |     | 6월  |     |     | 7월   |      |      | 8월  |     |     | 9월  |     |     |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|       | 조   | 중   | 만   | 조   | 중   | 만   | 조    | 중    | 만    | 조   | 중   | 만   | 조   | 중   | 만   |
| 1     |     |     |     | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 1.7  | 1.8  | 1.9  | 7.0 | 7.2 | 8.1 | 6.8 | 7.2 | 7.3 |
| 2     |     |     |     | 3.1 | 3.1 | 3.1 | 4.1  | 4.1  | 4.0  | 7.1 | 7.8 | 7.2 | 4.0 | 5.3 | 4.8 |
| 3     |     |     |     | 4.7 | 4.7 | 4.7 | 6.3  | 7.0  | 6.4  | 5.2 | 6.4 | 6.8 | 5.6 | 5.8 | 5.9 |
| 4     |     |     |     | 5.1 | 5.1 | 5.1 | 6.0  | 6.5  | 6.5  | 2.5 | 2.1 | 2.3 | 5.4 | 5.5 | 5.4 |
| 5     |     |     |     | 1.8 | 1.8 | 1.8 | 1.5  | 1.6  | 1.9  | 6.4 | 6.3 | 6.2 | 2.9 | 3.9 | 2.9 |
| 6     |     |     |     | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 1.3  | 1.3  | 1.5  | 7.1 | 7.2 | 7.5 | 6.4 | 5.8 | 6.8 |
| 7     |     |     |     | 6.7 | 6.7 | 6.7 | 5.2  | 6.0  | 5.3  | 3.5 | 3.2 | 2.8 | 6.0 | 6.5 | 6.3 |
| 8     |     |     |     | 1.9 | 1.9 | 1.9 | 1.8  | 2.4  | 2.1  | 5.5 | 5.6 | 5.0 | 6.3 | 5.2 | 6.5 |
| 9     |     |     |     | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 4.7  | 6.1  | 5.5  | 4.8 | 4.9 | 4.9 | 7.8 | 7.3 | 7.5 |
| 10    |     |     |     | 4.8 | 4.8 | 4.8 | 6.1  | 6.6  | 5.7  | 1.8 | 1.7 | 1.8 | 5.7 | 5.9 | 5.9 |
| 평균    |     |     |     | 4.1 | 4.1 | 4.1 | 3.9  | 4.3  | 4.1  | 5.1 | 5.2 | 5.3 | 5.7 | 5.8 | 5.9 |
| 11    |     |     |     | 4.6 | 4.6 | 4.6 | 2.3  | 2.0  | 2.2  | 2.5 | 2.6 | 2.7 | 5.0 | 4.5 | 6.0 |
| 12    |     |     |     | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 2.0  | 1.9  | 2.1  | 2.9 | 3.0 | 3.0 | 6.7 | 5.9 | 7.3 |
| 13    |     |     |     | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 3.7  | 3.6  | 3.4  | 4.3 | 4.5 | 4.6 | 3.9 | 4.0 | 4.1 |
| 14    |     |     |     | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 7.5  | 8.3  | 7.4  | 2.3 | 2.4 | 2.3 | 2.5 | 2.5 | 2.6 |
| 15    |     |     |     | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 4.7  | 4.8  | 5.2  | 4.2 | 4.2 | 4.7 | 5.3 | 5.5 | 5.5 |
| 16    |     |     |     | 4.9 | 4.9 | 4.9 | 3.1  | 3.5  | 3.7  | 4.4 | 4.6 | 4.5 | 2.1 | 3.1 | 2.8 |
| 17    |     |     |     | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.5  | 4.5  | 4.7  | 5.2 | 5.1 | 5.2 | 5.8 | 5.9 | 6.0 |
| 18    |     |     |     | 6.4 | 6.4 | 6.4 | 6.9  | 6.4  | 6.7  | 4.8 | 5.0 | 5.4 | 4.1 | 3.7 | 4.1 |
| 19    |     |     |     | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 7.7  | 6.9  | 7.9  | 3.2 | 3.4 | 3.5 | 5.4 | 5.9 | 5.4 |
| 20    |     |     |     | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 6.6  | 6.2  | 6.5  | 4.6 | 4.7 | 4.8 | 3.7 | 3.3 | 3.6 |
| 평균    |     |     |     | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 4.9  | 4.8  | 5.0  | 3.8 | 4.0 | 4.1 | 4.5 | 4.4 | 4.7 |
| 21    | 4.6 | 4.6 | 4.6 | 5.9 | 6.3 | 7.2 | 7.4  | 8.0  | 7.9  | 6.3 | 6.0 | 5.8 |     |     |     |
| 22    | 4.3 | 4.3 | 4.3 | 4.6 | 4.4 | 4.5 | 11.2 | 11.0 | 11.0 | 7.2 | 7.1 | 7.4 |     |     |     |
| 23    | 6.6 | 6.6 | 6.6 | 5.0 | 5.1 | 5.3 | 5.0  | 5.4  | 5.8  | 6.9 | 7.0 | 7.2 |     |     |     |
| 24    | 3.2 | 3.2 | 3.2 | 5.7 | 5.2 | 5.4 | -    | -    | -    | 6.0 | 6.2 | 6.4 |     |     |     |
| 25    | 5.2 | 5.2 | 5.2 | 2.1 | 2.0 | 1.9 | -    | -    | -    | 5.1 | 5.0 | 5.4 |     |     |     |
| 26    | 3.9 | 3.9 | 3.9 | 2.3 | 2.2 | 2.4 | -    | -    | -    | 6.5 | 6.5 | 6.6 |     |     |     |
| 27    | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 3.1 | 3.0 | 2.8 | -    | -    | -    | 6.8 | 6.8 | 6.9 |     |     |     |
| 28    | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 5.1 | 5.9 | 5.3 | 5.5  | 5.7  | 5.6  | 7.6 | 7.8 | 7.7 |     |     |     |
| 29    | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 5.3 | 6.3 | 5.2 | 5.0  | 6.9  | 6.7  | 4.9 | 5.0 | 5.0 |     |     |     |
| 30    | 3.4 | 3.4 | 3.4 | 3.7 | 4.1 | 3.7 | 8.5  | 7.7  | 7.7  | 7.0 | 7.1 | 7.2 |     |     |     |
| 31    | 5.2 | 5.2 | 5.2 |     |     |     | 8.6  | 9.0  | 8.1  | 5.9 | 5.8 | 5.9 |     |     |     |
| 평균    | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.3 | 4.5 | 4.4 | 7.3  | 7.7  | 7.5  | 6.4 | 6.4 | 6.5 |     |     |     |

주) - : 결측 및 낙수기간

#### IV. 용설저수지 수위관측자료

여 백

VI-1 용설저수지 수위 관측자료(4월)

| 구분<br>일별 | 08:00 hr      |               |              | 일 평균          |               |              | 비 고 |
|----------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-----|
|          | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) |     |
| 1        |               |               |              |               |               |              |     |
| 2        |               |               |              |               |               |              |     |
| 3        |               |               |              |               |               |              |     |
| 4        |               |               |              |               |               |              |     |
| 5        |               |               |              |               |               |              |     |
| 6        |               |               |              |               |               |              |     |
| 7        |               |               |              |               |               |              |     |
| 8        |               |               |              |               |               |              |     |
| 9        |               |               |              |               |               |              |     |
| 10       |               |               |              | 111.15        | 176.04        | 58.80        |     |
| 11       | 111.15        | 176.04        | 58.90        | 111.14        | 175.64        | 58.70        |     |
| 12       | 111.12        | 174.85        | 58.50        | 111.17        | 176.83        | 58.70        |     |
| 13       | 111.17        | 176.83        | 59.20        | 111.17        | 176.83        | 59.20        |     |
| 14       | 111.18        | 177.23        | 59.30        | 111.15        | 176.04        | 59.00        |     |
| 15       | 111.15        | 176.04        | 58.90        | 111.57        | 186.74        | 60.60        |     |
| 16       | 111.15        | 176.04        | 58.90        | 111.16        | 176.43        | 59.00        |     |
| 17       | 111.16        | 176.43        | 59.00        | 111.16        | 176.43        | 59.00        |     |
| 18       | 111.13        | 175.24        | 58.60        | 111.14        | 175.64        | 58.80        |     |
| 19       | 111.17        | 176.83        | 59.20        | 111.15        | 176.40        | 59.00        |     |
| 20       | 111.16        | 176.65        | 59.20        | 111.16        | 176.65        | 59.10        |     |
| 21       | 111.16        | 176.47        | 59.00        | 111.16        | 176.47        | 59.00        |     |
| 22       | 111.10        | 174.06        | 58.20        | 111.14        | 175.76        | 58.80        |     |
| 23       | 111.15        | 176.04        | 58.90        | 111.16        | 176.47        | 59.00        |     |
| 24       | 111.14        | 175.64        | 58.80        | 111.15        | 176.04        | 58.90        |     |
| 25       | 111.15        | 176.04        | 58.90        | 111.15        | 176.04        | 58.90        |     |
| 26       | 111.15        | 176.04        | 58.90        | 111.14        | 175.64        | 58.80        |     |
| 27       | 111.12        | 174.85        | 58.50        | 111.12        | 174.85        | 58.50        |     |
| 28       | 111.12        | 175.15        | 58.50        | 111.12        | 175.15        | 58.50        |     |
| 29       | 111.23        | 179.21        | 60.00        | 111.19        | 178.00        | 59.50        |     |
| 30       | 111.15        | 176.04        | 58.90        | 111.16        | 176.43        | 59.00        |     |

VI-2 용설저수지 수위 관측자료(5월)

| 구분<br>일별 | 08:00 hr      |               |              | 일 평균          |               |              | 비 고 |
|----------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-----|
|          | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) |     |
| 1        | 111.16        | 176.43        | 59.00        | 111.14        | 175.95        | 58.80        |     |
| 2        | 111.10        | 174.06        | 58.20        | 111.12        | 175.10        | 58.50        |     |
| 3        | 111.14        | 175.64        | 58.80        | 111.10        | 174.05        | 58.20        |     |
| 4        | 111.06        | 172.47        | 57.70        | 111.06        | 172.47        | 57.20        |     |
| 5        | 111.02        | 170.88        | 57.20        | 111.01        | 170.49        | 57.00        |     |
| 6        | 110.98        | 169.30        | 56.60        | 110.94        | 167.87        | 56.10        |     |
| 7        | 110.86        | 164.54        | 55.00        | 110.84        | 164.01        | 54.80        |     |
| 8        | 110.79        | 161.76        | 54.10        | 110.76        | 160.80        | 53.70        |     |
| 9        | 110.61        | 154.62        | 51.70        | 110.67        | 167.28        | 52.60        |     |
| 10       | 110.43        | 147.48        | 49.30        | 110.44        | 148.24        | 49.50        |     |
| 11       | 110.33        | 143.52        | 48.00        | 110.30        | 142.52        | 47.60        |     |
| 12       | 110.19        | 138.21        | 46.20        | 110.19        | 138.21        | 46.20        |     |
| 13       | 110.42        | 147.09        | 49.20        | 110.44        | 148.24        | 49.50        |     |
| 14       | 110.66        | 156.60        | 52.40        | 110.67        | 157.28        | 52.60        |     |
| 15       | 110.78        | 161.36        | 54.00        | 110.77        | 161.03        | 53.80        |     |
| 16       | 110.74        | 159.78        | 53.50        | 110.67        | 157.28        | 52.60        |     |
| 17       | 110.70        | 158.19        | 52.90        | 110.67        | 157.28        | 52.60        |     |
| 18       | 110.65        | 156.21        | 52.30        | 110.63        | 155.71        | 52.00        |     |
| 19       | 110.57        | 153.04        | 51.20        | 110.53        | 151.61        | 50.70        |     |
| 20       | 110.49        | 149.86        | 50.10        | 110.44        | 148.24        | 49.50        |     |
| 21       | 110.41        | 146.69        | 49.10        | 110.39        | 146.28        | 48.90        |     |
| 22       | 110.33        | 143.52        | 48.00        | 110.29        | 142.03        | 47.50        |     |
| 23       | 110.12        | 135.19        | 45.20        | 110.79        | 155.28        | 49.20        |     |
| 24       | 110.76        | 160.57        | 53.70        | 110.77        | 161.03        | 53.80        |     |
| 25       | 110.77        | 160.97        | 53.90        | 110.77        | 161.03        | 53.80        |     |
| 26       | 110.76        | 160.57        | 53.70        | 110.76        | 160.80        | 53.70        |     |
| 27       | 110.75        | 160.17        | 53.60        | 110.76        | 160.80        | 53.70        |     |
| 28       | 110.74        | 159.78        | 53.50        | 110.73        | 158.67        | 53.10        |     |
| 29       | 110.73        | 159.38        | 53.30        | 110.73        | 158.67        | 53.10        |     |
| 30       | 110.71        | 158.59        | 53.10        | 110.73        | 158.67        | 53.10        |     |
| 31       | 110.66        | 156.60        | 52.40        | 110.67        | 157.28        | 52.60        |     |

VI-3 용설저수지 수위 관측자료(6월)

| 구분<br>일별 | 08:00 hr      |               |              | 일 평균          |               |              | 비 고 |
|----------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-----|
|          | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) |     |
| 1        | 110.69        | 157.79        | 52.80        | 110.67        | 157.28        | 52.60        |     |
| 2        | 110.69        | 157.79        | 52.80        | 110.67        | 157.28        | 52.60        |     |
| 3        | 110.56        | 152.64        | 51.10        | 110.53        | 151.61        | 50.70        |     |
| 4        | 110.54        | 151.88        | 50.80        | 110.53        | 151.61        | 50.70        |     |
| 5        | 110.54        | 151.88        | 50.88        | 110.53        | 151.61        | 50.70        |     |
| 6        | 110.46        | 148.67        | 49.70        | 110.44        | 148.24        | 49.50        |     |
| 7        | 110.46        | 148.67        | 49.70        | 110.44        | 148.24        | 49.50        |     |
| 8        | 110.33        | 143.52        | 48.00        | 110.30        | 142.52        | 47.60        |     |
| 9        | 110.26        | 140.70        | 47.00        | 110.26        | 140.70        | 47.00        |     |
| 10       | 110.21        | 138.76        | 46.40        | 110.20        | 138.21        | 46.20        |     |
| 11       | 110.12        | 135.19        | 45.20        | 110.10        | 134.75        | 45.00        |     |
| 12       | 109.96        | 129.37        | 43.20        | 109.96        | 129.37        | 43.20        |     |
| 13       | 109.97        | 129.55        | 43.30        | 109.96        | 129.37        | 43.20        |     |
| 14       | 109.91        | 127.81        | 42.80        | 109.84        | 125.77        | 42.10        |     |
| 15       | 109.72        | 122.27        | 40.90        | 109.70        | 121.78        | 40.70        |     |
| 16       | 109.53        | 116.73        | 39.10        | 109.56        | 117.80        | 39.30        |     |
| 17       | 109.44        | 114.11        | 38.20        | 109.47        | 115.03        | 38.50        |     |
| 18       | 109.36        | 111.78        | 37.40        | 109.34        | 111.46        | 37.20        |     |
| 19       | 109.28        | 109.45        | 36.60        | 109.26        | 108.67        | 36.30        |     |
| 20       | 109.23        | 107.99        | 36.10        | 109.20        | 107.28        | 35.80        |     |
| 21       | 109.19        | 106.82        | 35.70        | 109.20        | 107.28        | 35.80        |     |
| 22       | 109.15        | 105.66        | 35.30        | 109.20        | 107.28        | 35.80        |     |
| 23       | 109.10        | 104.20        | 34.90        | 109.13        | 105.12        | 35.20        |     |
| 24       | 109.06        | 103.04        | 34.50        | 109.07        | 103.46        | 34.60        |     |
| 25       | 109.10        | 104.20        | 34.90        | 109.20        | 107.33        | 35.90        |     |
| 26       | 109.64        | 119.94        | 40.10        | 109.65        | 120.32        | 40.20        |     |
| 27       | 109.84        | 125.77        | 42.10        | 109.85        | 126.06        | 42.20        |     |
| 28       | 109.91        | 127.81        | 42.80        | 109.90        | 127.75        | 42.70        |     |
| 29       | 109.83        | 125.48        | 42.00        | 109.92        | 128.13        | 42.80        |     |
| 30       | 110.00        | 130.43        | 43.60        | 109.97        | 129.80        | 43.40        |     |

VI-4 용설저수지 수위 관측자료(7월)

| 구분<br>일별 | 08:00 hr      |               |            | 일 평균          |               |            | 비 고 |
|----------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|------------|-----|
|          | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>(%) | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>(%) |     |
| 1        | 110.20        | 138.36        | 46.30      | 110.44        | 148.24        | 49.50      |     |
| 2        | 111.03        | 171.28        | 57.30      | 111.06        | 172.75        | 57.70      |     |
| 3        | 111.26        | 180.70        | 60.40      | 111.26        | 180.70        | 60.40      |     |
| 4        | 111.35        | 183.97        | 61.50      | 111.38        | 185.16        | 61.90      |     |
| 5        | 111.75        | 199.83        | 66.90      | 111.90        | 205.78        | 68.80      |     |
| 6        | 112.24        | 221.64        | 74.10      | 112.30        | 224.71        | 75.20      |     |
| 7        | 112.67        | 242.94        | 81.30      | 112.65        | 241.94        | 80.90      |     |
| 8        | 112.64        | 241.45        | 80.80      | 112.64        | 241.45        | 80.80      |     |
| 9        | 112.62        | 240.46        | 80.40      | 112.64        | 241.55        | 80.70      |     |
| 10       | 112.73        | 245.91        | 82.30      | 112.71        | 245.16        | 82.00      |     |
| 11       | 112.77        | 247.88        | 82.90      | 112.76        | 247.79        | 82.90      |     |
| 12       | 112.81        | 248.69        | 83.20      | 112.81        | 248.69        | 83.20      |     |
| 13       | 112.85        | 252.10        | 84.30      | 112.85        | 252.10        | 84.30      |     |
| 14       | 112.89        | 253.83        | 84.90      | 112.89        | 253.89        | 84.90      |     |
| 15       | 112.97        | 257.80        | 86.20      | 112.99        | 258.99        | 86.50      |     |
| 16       | 113.08        | 263.24        | 88.10      | 113.10        | 264.33        | 88.40      |     |
| 17       | 113.19        | 268.69        | 89.90      | 113.22        | 270.18        | 90.40      |     |
| 18       | 113.31        | 274.64        | 91.90      | 113.30        | 274.49        | 91.80      |     |
| 19       | 113.39        | 278.60        | 93.20      | 113.39        | 278.60        | 93.20      |     |
| 20       | 113.41        | 279.59        | 93.50      | 113.41        | 279.59        | 93.50      |     |
| 21       | 113.44        | 281.08        | 94.00      | 113.41        | 279.69        | 93.60      |     |
| 22       | 113.34        | 276.41        | 92.40      | 113.34        | 276.41        | 92.40      |     |
| 23       | 113.28        | 273.15        | 91.40      | 113.26        | 272.46        | 91.10      |     |
| 24       | 113.23        | 270.67        | 90.60      | 113.19        | 268.69        | 89.90      |     |
| 25       | 113.05        | 261.76        | 87.60      | 113.06        | 262.50        | 87.80      |     |
| 26       | 113.03        | 260.77        | 87.20      | 112.97        | 257.80        | 86.20      |     |
| 27       | 112.90        | 254.33        | 85.10      | 112.88        | 253.46        | 84.80      |     |
| 28       | 112.78        | 248.38        | 83.10      | 112.77        | 247.89        | 82.90      |     |
| 29       | 112.74        | 246.40        | 82.40      | 112.70        | 244.73        | 81.80      |     |
| 30       | 112.65        | 241.94        | 80.90      | 112.60        | 239.82        | 80.20      |     |
| 31       | 112.54        | 236.50        | 79.10      | 112.51        | 235.34        | 78.70      |     |

VI-5 용설저수지 수위 관측자료(8월)

| 구분<br>일별 | 08:00 hr      |               |              | 일 평균          |               |              | 비 고 |
|----------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-----|
|          | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) |     |
| 1        | 112.44        | 231.54        | 77.50        | 112.40        | 229.66        | 76.80        |     |
| 2        | 112.32        | 225.60        | 75.50        | 112.26        | 222.63        | 74.50        |     |
| 3        | 112.42        | 230.55        | 77.10        | 112.45        | 232.47        | 77.70        |     |
| 4        | 112.69        | 243.93        | 81.60        | 112.84        | 251.48        | 84.10        |     |
| 5        | 113.60        | 289.00        | 96.70        | 113.61        | 289.50        | 96.80        |     |
| 6        | 113.79        | 298.41        | 99.80        | 113.77        | 297.71        | 99.60        |     |
| 7        | 113.75        | 296.43        | 99.20        | 113.77        | 297.71        | 99.60        |     |
| 8        | 113.74        | 295.94        | 99.00        | 113.78        | 298.31        | 99.60        |     |
| 9        | 113.77        | 297.71        | 99.60        | 113.78        | 297.71        | 99.60        |     |
| 10       | 113.76        | 296.93        | 99.30        | 113.77        | 297.56        | 99.50        |     |
| 11       | 113.75        | 296.53        | 99.20        | 113.77        | 297.56        | 99.50        |     |
| 12       | 113.75        | 296.53        | 99.20        | 113.75        | 296.53        | 99.20        |     |
| 13       | 113.69        | 296.22        | 99.10        | 113.69        | 296.22        | 99.10        |     |
| 14       | 113.53        | 285.53        | 95.50        | 113.53        | 285.53        | 95.50        |     |
| 15       | 113.39        | 278.60        | 93.20        | 113.35        | 276.66        | 92.50        |     |
| 16       | 113.29        | 273.65        | 91.50        | 113.26        | 270.51        | 99.50        |     |
| 17       | 113.19        | 268.69        | 89.90        | 113.17        | 264.53        | 88.50        |     |
| 18       | 113.09        | 263.74        | 88.20        | 113.07        | 263.34        | 88.10        |     |
| 19       | 112.98        | 258.29        | 86.40        | 112.97        | 257.79        | 86.20        |     |
| 20       | 112.92        | 255.32        | 85.40        | 112.94        | 256.61        | 85.80        |     |
| 21       | 112.89        | 253.82        | 84.90        | 112.86        | 252.61        | 84.50        |     |
| 22       | 112.75        | 246.90        | 82.60        | 112.72        | 244.50        | 81.80        |     |
| 23       | 112.61        | 239.96        | 80.30        | 112.59        | 239.72        | 80.20        |     |
| 24       | 112.47        | 233.03        | 78.00        | 112.45        | 232.18        | 77.60        |     |
| 25       | 112.34        | 226.59        | 75.80        | 112.31        | 225.54        | 75.40        |     |
| 26       | 112.19        | 219.16        | 73.30        | 112.20        | 220.05        | 73.60        |     |
| 27       | 112.14        | 216.68        | 72.50        | 112.12        | 216.13        | 72.30        |     |
| 28       | 112.05        | 212.23        | 71.00        | 112.02        | 211.25        | 70.60        |     |
| 29       | 111.92        | 206.58        | 69.10        | 111.89        | 205.42        | 68.70        |     |
| 30       | 111.79        | 201.42        | 67.40        | 111.77        | 200.68        | 67.10        |     |
| 31       | 111.68        | 197.06        | 65.90        | 111.65        | 196.07        | 65.50        |     |

VI-6 용설저수지 수위 관측자료(9월)

| 구분<br>일별 | 08:00 hr      |               |            | 일 평균          |               |            | 비 고 |
|----------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|------------|-----|
|          | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>(%) | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>(%) |     |
| 1        | 111.55        | 191.90        | 64.20      | 111.52        | 190.89        | 63.80      |     |
| 2        | 111.45        | 187.94        | 62.90      | 111.44        | 187.74        | 62.80      |     |
| 3        | 111.39        | 185.56        | 62.10      | 111.37        | 185.02        | 61.90      |     |
| 4        | 111.30        | 181.99        | 60.90      | 111.30        | 181.73        | 60.80      |     |
| 5        | 111.23        | 179.21        | 60.00      | 111.24        | 179.94        | 60.20      |     |
| 6        | 111.16        | 176.43        | 59.00      | 111.17        | 176.95        | 59.20      |     |
| 7        | 111.10        | 174.06        | 58.20      | 111.10        | 164.99        | 58.20      |     |
| 8        | 111.04        | 171.68        | 57.40      | 111.03        | 171.28        | 57.30      |     |
| 9        | 111.04        | 171.68        | 57.40      | 111.03        | 171.28        | 57.30      |     |
| 10       | 111.00        | 170.09        | 56.90      | 110.98        | 169.30        | 56.60      |     |
| 11       | 110.90        | 166.12        | 55.60      | 110.89        | 165.73        | 55.40      |     |
| 12       | 110.87        | 164.93        | 55.20      | 110.87        | 164.93        | 55.20      |     |
| 13       | 110.86        | 164.54        | 55.00      | 110.85        | 164.14        | 54.90      |     |
| 14       | 110.85        | 164.14        | 54.90      | 110.85        | 164.14        | 54.90      |     |
| 15       | 110.85        | 164.14        | 54.90      | 110.85        | 164.14        | 54.90      |     |
| 16       | 110.86        | 164.54        | 55.00      | 110.86        | 164.54        | 55.00      |     |
| 17       | 110.86        | 164.54        | 55.00      | 110.86        | 164.54        | 55.00      |     |
| 18       | 110.86        | 164.54        | 55.00      | 110.84        | 163.74        | 54.80      |     |
| 19       | 110.76        | 160.57        | 53.70      | 110.77        | 160.97        | 53.90      |     |
| 20       | 110.82        | 162.95        | 54.50      | 110.82        | 162.95        | 54.50      |     |
| 21       | 110.84        | 163.74        | 54.80      | 110.84        | 163.74        | 54.80      |     |
| 22       | 110.87        | 164.93        | 55.20      | 110.90        | 166.12        | 55.60      |     |
| 23       | 111.01        | 170.49        | 57.00      | 111.01        | 170.49        | 57.00      |     |
| 24       | 111.05        | 172.07        | 57.60      | 111.08        | 173.26        | 58.00      |     |
| 25       | 111.17        | 176.83        | 59.20      | 111.19        | 177.62        | 59.40      |     |
| 26       | 111.25        | 180.00        | 60.20      | 111.25        | 180.00        | 60.20      |     |
| 27       | 111.25        | 180.00        | 60.20      | 111.25        | 180.00        | 60.20      |     |
| 28       | 111.25        | 180.00        | 60.20      | 111.25        | 180.00        | 60.20      |     |
| 29       | 111.25        | 180.00        | 60.20      | 111.24        | 179.61        | 60.10      |     |
| 30       | 111.22        | 178.81        | 59.80      | 111.22        | 178.42        | 59.80      |     |

VI-7 용설저수지 수위 관측자료(10월)

| 구분<br>일별 | 08:00 hr      |               |              | 일 평균          |               |              | 비 고 |
|----------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-----|
|          | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) |     |
| 1        | 111.20        | 178.02        | 59.60        | 111.21        | 178.42        | 59.70        |     |
| 2        | 111.25        | 180.00        | 60.20        | 111.26        | 180.00        | 60.40        |     |
| 3        | 111.26        | 180.40        | 60.40        | 111.26        | 180.40        | 60.40        |     |
| 4        | 111.26        | 180.40        | 60.40        | 111.25        | 180.00        | 60.20        |     |
| 5        | 111.20        | 178.02        | 59.60        | 111.20        | 178.02        | 59.60        |     |
| 6        | 111.14        | 175.64        | 58.80        | 111.14        | 175.64        | 58.80        |     |
| 7        | 111.08        | 173.26        | 58.00        | 111.08        | 173.26        | 58.00        |     |
| 8        | 111.01        | 170.49        | 57.00        | 111.01        | 170.49        | 57.00        |     |
| 9        | 111.04        | 171.68        | 57.40        | 111.05        | 172.07        | 57.60        |     |
| 10       | 111.08        | 173.26        | 58.00        | 111.08        | 173.26        | 58.00        |     |
| 11       | 111.11        | 174.45        | 58.40        | 111.11        | 174.45        | 58.40        |     |
| 12       | 111.15        | 176.04        | 58.90        | 111.15        | 176.04        | 58.90        |     |
| 13       | 111.18        | 177.23        | 59.30        | 111.16        | 176.43        | 59.00        |     |
| 14       | 111.07        | 172.87        | 57.80        | 111.06        | 172.47        | 57.70        |     |
| 15       | 111.04        | 171.68        | 57.40        | 111.04        | 171.68        | 57.40        |     |
| 16       | 111.07        | 172.87        | 57.80        | 111.05        | 172.07        | 57.60        |     |
| 17       | 111.02        | 170.88        | 57.20        | 111.02        | 170.88        | 57.20        |     |
| 18       | 110.99        | 169.69        | 56.80        | 111.01        | 170.49        | 57.00        |     |
| 19       | 111.06        | 172.47        | 57.70        | 111.05        | 172.07        | 57.60        |     |
| 20       | 111.08        | 173.26        | 58.00        | 111.06        | 172.47        | 57.70        |     |
| 21       | 111.00        | 170.09        | 56.90        | 111.03        | 171.28        | 57.30        |     |
| 22       | 110.98        | 169.30        | 56.60        | 110.99        | 169.87        | 56.80        |     |
| 23       | 111.05        | 172.07        | 57.60        | 111.04        | 171.68        | 57.40        |     |
| 24       | 111.09        | 173.66        | 58.10        | 111.09        | 173.66        | 58.10        |     |
| 25       | 111.09        | 173.66        | 58.10        | 111.09        | 173.66        | 58.10        |     |
| 26       | 111.08        | 173.26        | 58.50        | 111.08        | 173.26        | 58.50        |     |
| 27       | 111.08        | 173.26        | 58.50        | 111.07        | 172.87        | 57.80        |     |
| 28       | 111.13        | 175.24        | 58.60        | 111.11        | 174.45        | 58.40        |     |
| 29       | 111.12        | 174.85        | 58.50        | 111.11        | 174.45        | 58.40        |     |
| 30       | 111.04        | 171.68        | 57.40        | 111.08        | 173.26        | 58.00        |     |
| 31       | 111.08        | 173.26        | 58.00        | 111.10        | 174.06        | 58.20        |     |

VI-8 용설저수지 수위 관측자료(11월)

| 구분<br>일별 | 08:00 hr      |               |              | 일 평균          |               |              | 비 고 |
|----------|---------------|---------------|--------------|---------------|---------------|--------------|-----|
|          | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) | 저수위<br>(El.m) | 저수량<br>(ha.m) | 저수율<br>( % ) |     |
| 1        | 111.05        | 172.07        | 57.60        | 111.09        | 173.66        | 58.10        |     |
| 2        | 111.14        | 175.64        | 58.80        | 111.14        | 175.64        | 58.80        |     |
| 3        | 111.16        | 176.43        | 59.00        | 111.12        | 175.03        | 58.50        |     |
| 4        | 111.15        | 176.04        | 58.90        | 111.13        | 175.36        | 58.60        |     |
| 5        | 111.16        | 176.43        | 59.00        | 111.13        | 175.36        | 58.60        |     |
| 6        | 111.11        | 174.45        | 58.40        | 111.12        | 174.85        | 58.50        |     |
| 7        | 111.12        | 174.85        | 58.50        | 111.12        | 174.85        | 58.50        |     |
| 8        | 111.10        | 174.06        | 58.20        | 111.12        | 174.85        | 58.50        |     |
| 9        | 111.13        | 175.24        | 58.60        | 111.12        | 174.85        | 58.50        |     |
| 10       | 111.16        | 176.43        | 59.00        | 111.12        | 174.85        | 58.50        |     |
| 11       | 111.15        | 176.04        | 58.90        | 111.14        | 175.64        | 58.80        |     |
| 12       | 111.21        | 178.42        | 59.70        | 111.24        | 179.97        | 60.20        |     |
| 13       | 111.33        | 183.18        | 61.30        | 111.32        | 182.78        | 61.10        |     |
| 14       | 111.34        | 183.57        | 61.40        | 111.34        | 183.57        | 61.40        |     |
| 15       | 111.35        | 183.97        | 61.50        | 111.35        | 183.97        | 61.50        |     |
| 16       | 111.37        | 184.76        | 61.70        | 111.37        | 184.76        | 61.80        |     |
| 17       | 111.39        | 185.56        | 62.10        | 111.38        | 185.16        | 61.90        |     |
| 18       | 111.30        | 181.99        | 60.90        | 111.35        | 183.97        | 61.50        |     |
| 19       | 111.33        | 183.18        | 61.30        | 111.34        | 183.57        | 61.40        |     |
| 20       | 111.34        | 183.57        | 61.40        | 111.34        | 183.57        | 61.40        |     |
| 21       | 111.40        | 185.95        | 62.20        | 111.40        | 185.95        | 62.20        |     |
| 22       | 111.42        | 186.75        | 62.50        | 111.42        | 186.75        | 62.50        |     |
| 23       | 111.45        | 187.94        | 62.90        | 111.45        | 187.94        | 62.90        |     |
| 24       | 111.49        | 189.52        | 63.40        | 111.48        | 189.13        | 63.30        |     |
| 25       | 111.48        | 189.13        | 63.30        | 111.48        | 189.13        | 63.30        |     |
| 26       | 111.50        | 189.92        | 63.50        | 111.48        | 189.13        | 63.30        |     |
| 27       | 111.48        | 189.13        | 63.30        | 111.47        | 188.73        | 63.10        |     |
| 28       | 111.51        | 190.32        | 63.70        | 111.52        | 190.71        | 63.80        |     |
| 29       | 111.61        | 194.28        | 65.00        | 111.62        | 194.68        | 65.10        |     |
| 30       | 111.68        | 197.06        | 65.90        | 111.68        | 197.06        | 65.90        |     |